

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Návrh osazení klimatizace oddílu cestujících v
modernizovaném motorovém voze řady 814

Air Conditioning Installation Design to the Modernized
Trainset 814

Student:	Ladislav Valenta
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Vladislav Ochodek
Datum odevzdání:	20.5.2013

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Ladislav Valenta**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Návrh osazení klimatizace oddílu cestujících v modernizovaném motorovém voze řady 814
Air Conditioning Installation Design to the Modernized Trainset 814

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor konstrukce motorového vozu 814.
2. Navrhněte konstrukci, materiál a technologii výroby opěrného rámu klimatizace.
3. Pověďte základní dimenzování navržené svařované konstrukce.
4. Proveďte ekonomický rozbor navrhovaných úprav.

Seznam doporučené odborné literatury:

ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
VEJVODA, S., PODHORA, J., SUCHÁNEK, M., MAJER, L. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení*. Zeross 1999.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5. 2013

..... Ladislav Valenta

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20.5.2013

Ladislav Valenta

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: LADISLAV VALENTA

Adresa trvalého pobytu autora práce: 8. KVĚTNA 50, ŠUMPERK, 787 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VALENTA, L. *Návrh osazení klimatizace oddílu cestujících v modernizovaném motorovém voze řady 814: bakalářská práce*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, 43 s. Vedoucí práce: Ing. Ochodek, V.

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukčního řešení osazení klimatizace oddílu cestujících v modernizovaném motorovém voze řady 814. V úvodu jsou popsány základní informace o voze 814. Na základě těchto informací a počítačového modelu vozu 814 jsou navrženy úpravy stávající konstrukce vozu a technologie výroby nových dílů. Dále jsou navrženy nové, zesílené díly konstrukce, které jsou doplněny o svarové spoje. Jednotlivé díly jsou pak staticky ověřovány prostřednictvím počítačové simulace. V závěru práce je rozbor navrhovaných úprav zabývajících se především analýzou nárůstu hmotnosti a shrnutím dalších úprav potřebných k úspěšnému dokončení osazení klimatizace.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

VALENTA, L. *Air Conditioning Installation Design to the Modernized Trainset 814 : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of mechanical technology, 2013, 43 p. Thesis head: Ing. Ochodek, V.

Bachelor thesis is dealing with air conditioning installation design to the modernized trainset 814. The introduction describe the basic informations about trainset 814. On the basis of these informations and computer model of trainset 814 there are designed modifications of existing construction of trainset 814 and technology of manufactory of new parts. Next there are designed new stronger parts of the construction which are welded. Each parts are statically tested by computer simulation. In the end of bachelor thesis there is analysis of designed modifications mainly engaged in analysis of the increase of weight and summary of next modifications needed to successfully complete the air conditioning installation.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu práce, panu Ing. Vladislavu Ochodkovi za cenné rady, dále panu Ing. Karlu Kobzovi a společnosti Pars nova a.s. za počítačový model hrubé stavby vozu 814, odborné konzultace, ochotu, trpělivost a zajímavé téma práce.

Obsah

	strana
Seznam použitého označení	8
0 Úvod	9
1 Rozbor konstrukce motorového vozu 814	10
1.1 Základní informace	10
1.2 Rozbor konstrukce a požadované úpravy	11
1.2.1 Vnitřní okenní rámy	12
1.2.2 Díly sloupků	14
1.2.3 Střešní konstrukce	15
1.2.4 Klimatizační jednotka	16
2 Návrh konstrukce	17
2.1 Technologie výroby a materiál konstrukce	17
2.2 Návrh jednotlivých dílů	18
2.2.1 Vyztužení sloupků	18
2.2.2 Střešní kružiny	21
2.2.3 Vzpěry mezi kružinami	22
2.2.4 Úchyty klimatizační jednotky	23
3 Základní dimenzování navržené svařované konstrukce	24
3.1 Volba typů svarů a jejich rozmístění na konstrukci	25
3.1.1 Svarové spoje na výztuže sloupku	25
3.1.2 Svarové spoje na střešní kružině	26
3.1.3 Svarové spoje mezi kružinami a úchyty klimatizační jednotky	26
3.1.4 Svarové spoje úchytů klimatizační jednotky	27
3.2 Pevnostní kontrola navržených dílů	28
3.2.1 Pevnostní kontrola výztuhy sloupku	29
3.2.2 Pevnostní kontrola střešní kružiny	31
3.2.3 Pevnostní kontrola úchytů klimatizační jednotky	34
4 Hmotnostní rozbor navrhovaných úprav	40
5 Závěr	41
6 Seznam použité literatury	42
7 Seznam příloh	43

Seznam použitého označení

R_e	mez kluzu v tahu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
mm	milimetr	[$10^{-3}m$]
F_G	tíhová síla	[N]
F_{GS}	zatěžující síla jednoho sloupku	[N]
F_{GK}	zatěžující síla jedné střešní kružiny	[N]
F_{GU}	zatěžující síla jednoho úchyty klimatizační jednotky	[N]
m	hmotnost	[kg]
Δm	nárůst hmotnosti vozu po úpravách	[kg]
m_o	součet hmotností odstraněných původních dílů	[kg]
m_n	součet hmotností nově navržených dílů	[kg]
g	gravitační zrychlení	[$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]
kg	kilogram	
MAG	Metal Active Gas , svařovací metoda 135	

0 Úvod

Dle [1] je vůz 814 je provozován ve dvou vozové či tří vozové jednotce známé pod obchodním názvem „Regionova“ a „Regionova trio“. Tyto vozy vznikly přestavbou původních vozů řady 810 a přípojných vozů řady 010 vyráběných ve Vagonce Studénka v letech 1973 až 1983, které vlastnily České dráhy.

Dvou vozová jednotka 814-914 byla představena a pokřtěna v roce 2005 na Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně, kde také získala Zlatou medaili MSV a současně Cenu Technického týdeníku. Mimo tyto úspěchy byla nominována Design centrem České republiky do soutěže Vynikající výrobek roku 2007. Jednotka je tvořena motorovým a řídicím vozem, které jsou v provozu trvale spojeny přivrácenými čely. Modernizace nespočívala pouze v atraktivním designu a celkové úpravě interiéru, ale také možnosti přepravy objemných zavazadel, uzpůsobení nízkopodlažní části řídicího vozu 914 pro přepravu cestujících se sníženou pohyblivostí a také zjednodušení přepravy nevidomých cestujících pomocí akustických majáčků a možnosti otevření dveří pomocí slepecké vysílačky VPN. Díky tomu, že ovládání trakce má na starosti elektronický řídicí systém, umožňující například automatickou regulaci rychlosti, jsou tím pádem vylepšeny i podmínky obsluhujícího personálu. Stanoviště strojvedoucího je kompletně modernizováno.

Tří vozová jednotka 814-014-814 vznikla dle [2] na základě zkušeností z provozu jednotek 814-914. Tří vozové jednotky nabízí vyšší přepravní kapacitu a také vyšší trakční výkon.

Co však oběma jednotkám chybí je klimatizace. V současnosti jsou klimatizována pouze stanoviště strojvedoucího. Zajištění tepelné pohody montáží klimatizace v oddílu cestujících by tedy jistě prospělo. Vzhledem ke konstrukčním možnostem se zatím počítá pouze se zástavbou klimatizace do vozu 814.

Tato práce se zabývá návrhem konstrukčního řešení vhodného pro zástavbu klimatizační jednotky na střechu motorového vozu 814. Jedná se o úpravu konstrukce skříňe vozu, která spočívá ve vyztužení či nahrazení stávajících dílů v takové míře, aby takto zesílená skříň byla schopna nést na střeše klimatizační jednotku a případně dvě osoby, provádějící opravy na střeše vozu. Dále je nutné brát v potaz umístění přívodů chladiva, kapaliny topné části a také rozvodů klimatizovaného vzduchu. Předpokladem je, že konstrukce nebude výrazně snižovat výšku stropu v oddíle cestujících oproti řešení bez klimatizace. Od firmy Pars nova a.s. jsem k tomuto účelu dostal počítačový model [5] hrubé stavby vozu 814, na kterém byly prováděny potřebné úpravy, popsane v této práci.

1 Rozbor konstrukce motorového vozu 814

1.1 Základní informace

Dle [3] vznikl motorový vůz řady 814 přestavbou motorového vozu řady 810 nebo přípojného vozu řady Btax 010. Přestavba vozu spočívala v dosazení inovovaného spalovacího motoru a nové hydromechanické převodovky, dosazení elektronického řídicího systému motorového vozu, zavedení vícenásobného řízení motorové soupravy z jednoho stanoviště, zlepšení pracovních podmínek strojvedoucího a zlepšení kultury cestování.

Motorový vůz řady 814 je dvounápravový vůz lehké ocelové samonosné konstrukce. Má dva jednonápravové podvozky, z nichž jeden je hnací. Na jednom čele je úplné stanoviště strojvedoucího, které je oddělené od nástupního prostoru prosklenou lomenou příčkou s křídlovými dveřmi. Druhé čelo je ploché, opatřené průchodem s křídlovými dveřmi. Je zrušeno WC, celý oddíl mezi nástupními prostory je využit pro přepravu sedících cestujících.

Hnací soustrojí, tj. naftový motor a hydromechanická převodovka, je zavěšeno ve spodní části vozu. Také ostatní příslušenství, jako naftová nádrž, vodní chladič, akumulátorová baterie, pomocné stroje apod. jsou umístěny pod vozem.

Vytápění vozu je teplovodní, využívající i odpadní teplo spalovacího motoru. Stanoviště strojvedoucího je klimatizováno prostřednictvím výměníku topné a chladicí jednotky RN 814 F. Chladicí médium je přiváděno potrubím od kompresoru klimatizace umístěném na rámu pomocných pohonů od něj je chladivo potrubím přivedeno do kondenzátoru klimatizace a dále je vedeno do výparníku klimatizace. Příkon klimatizační jednotky: elektrický – max. 25 A, 24 V DC chladicí výkon 6,8 kW, topný výkon 6,5 kW.

Tab.1: Důležité parametry vozu 814

Parametr	Hodnota	Jednotka
Rozchod	1435	[mm]
Rozvor	8000	[mm]
Hmotnost vozu	22	[t]
Hmotnost plně obsazeného vozu	27,8	[t]
Hmotnost na nápravu	11	[t]
Hmotnost hnacího podvozku	2965	[kg]
Hmotnost běžného podvozku	2260	[kg]
Šířka skříně	3073	[mm]
Výška skříně	3420	[mm]
Délka přes nárazníky	14 220	[mm]
Délka přes čelníky	13 150	[mm]
Dimenzování vozidla na tlak v místě nárazníků	700	[kN]
Diagonálně na 1 nárazník	200	[kN]
Dimenzování prvků hnacího soustrojí na adhezní součinitel	0,4	[-]

Nárazníky jsou trubkové, svařované. Na horní části koše nárazníku umístěných v čele jednotky je navařeno stupátko umožňující přístup k čištění čelního okna. Nárazníky na straně průchozího čela jsou bez stupačky a talíře jsou kalené.

Tab.2: Parametry nárazníku

Parametr	Hodnota	Jednotka
Rozměr talíře nárazníku	450	[mm]
Maximální stlačení nárazníku	110	[mm]
Síla na nárazník při max. stlačení	200	[kN]
Délka nárazníku	535	[mm]

1.2 Rozbor konstrukce a požadované úpravy

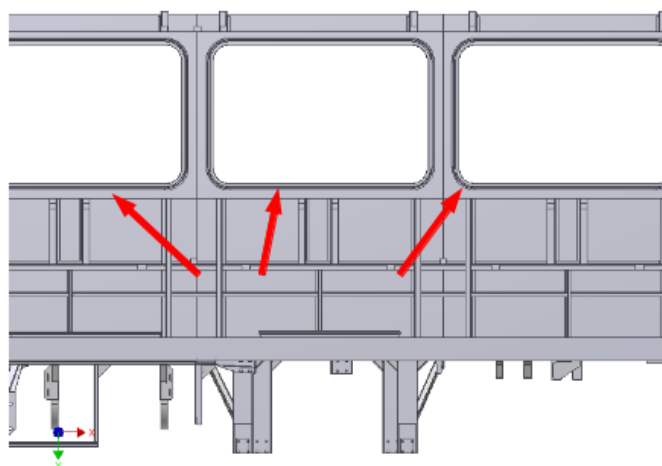
Celá konstrukce skříně vozu je složitá sestava zatížená působením mnoha sil, tlaků, spojitých zatížení, momentů vznikajících jak samotnou jízdou, tak i celkovou tuhostí skříně a například pohonného ústrojí. Pro potřebu zástavby klimatizační jednotky se však těmito faktory zabývat nebudu. Zde mě především zajímá, jak vypadá konstrukce bočnic a střechy vozu v místech, kde bude klimatizační jednotka umístěna a jaké úpravy bude třeba provést.

Je nutno uvést fakt, že výroba posledního vozu 814 používaného ve dvou vozové a tří vozové jednotce známé pod názvy „Regionova“ a „Regionova Trio“ byla dle [4] ukončena 12.12. 2012 . Z tohoto hlediska je potřeba volit úpravy tak, aby byly realizovatelné na již vyrobených kusech a nebylo třeba radikálních zásahů do konstrukce, které by celou zástavbu značně zkomplikovaly či prodražily. Navrhované úpravy by mohly být jedním z možných řešení zástavby klimatizační jednotky.

Jednotlivé skupiny dílů či sestav byly zařazeny do následujících podkapitol, kde jsou přehledně uvedeny podrobnosti.

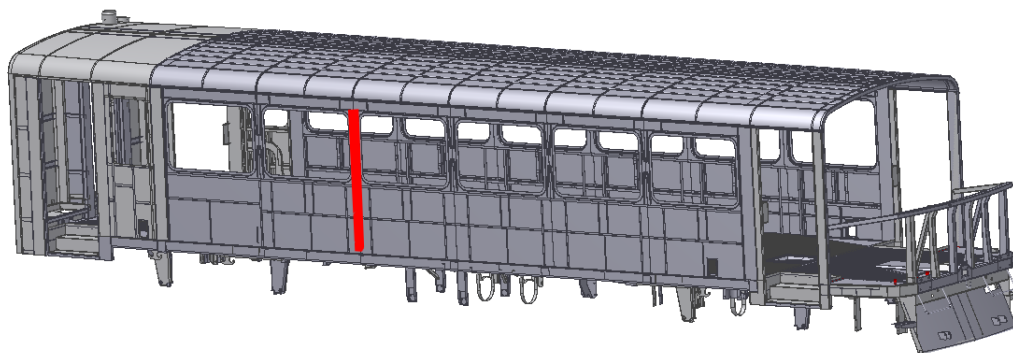
1.2.1 Vnitřní okenní rámy

Vnitřní okenní rámy se nacházejí na obou bočnicích skříně. Jedná se o výlisky z ocelového plechu tloušťky 1,5 mm. Jednotlivé vnitřní okenní rámy na sebe navzájem navazují a zakrývají tak prostor pomyslných sloupků mezi jednotlivými okny. Tyto rámy jsou označeny červenými šipkami na obrázku obr.1 .



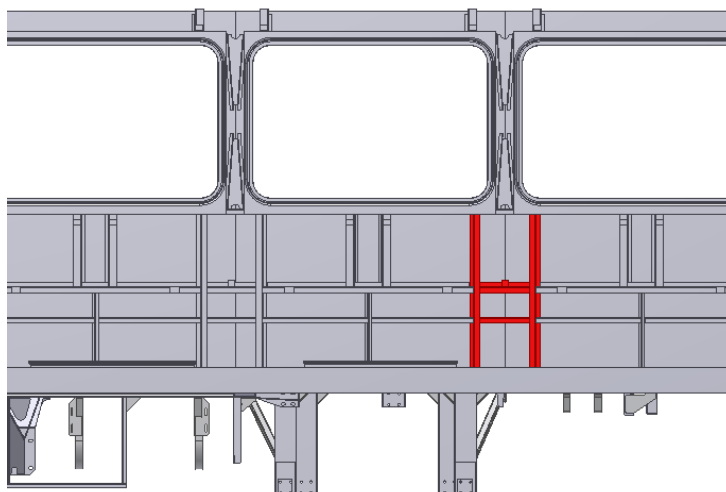
Obr.1: Vnitřní okenní rámy

Dle rozměrů klimatizační jednotky jsem zjistil, že bude výhodné její střešní konstrukci podepřít dvěma sloupky na každé bočnici. Dle konzultací ve firmě Pars nova a.s. byl zadán jeden sloupek, který má sloužit pro vedení potrubí s chladícím prostředkem od kompresoru ke klimatizační jednotce. Tento sloupek je červeně znázorněn na obrázku obr.2.



Obr.2: Sloupek vedení potrubí chladícího prostředku

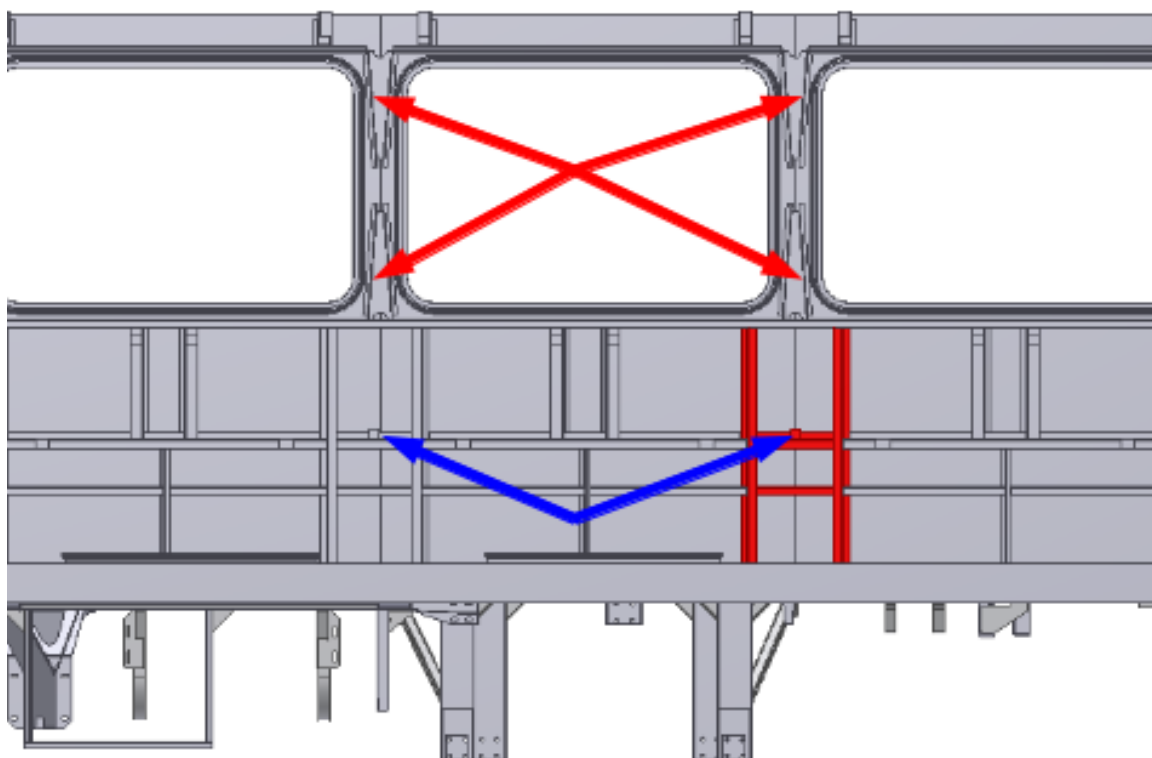
Dle změřených vzdáleností mezi sousedními vnitřními okenními rámy jsem zjistil, že maximální využitelná šířka nového sloupku by mohla být 107 mm. Vzhledem k možným nesouladům počítačového modelu se skutečností po několikaletém provozu jsem zvolil šířku nového sloupku 100 mm. Prvním krokem úpravy je tedy vyříznutí spojů okenních ráků v místech budoucích sloupků. Tato úprava je znázorněna na obrázku obr.3 . Ve vzniklých výřezech se naskytne pohled do hloubky sloupku na další výztuhy. Červeně značené díly sloupku označují sloupek, kterým bude vedeno potrubí.



Obr.3: Upravené vnitřní okenní rámy

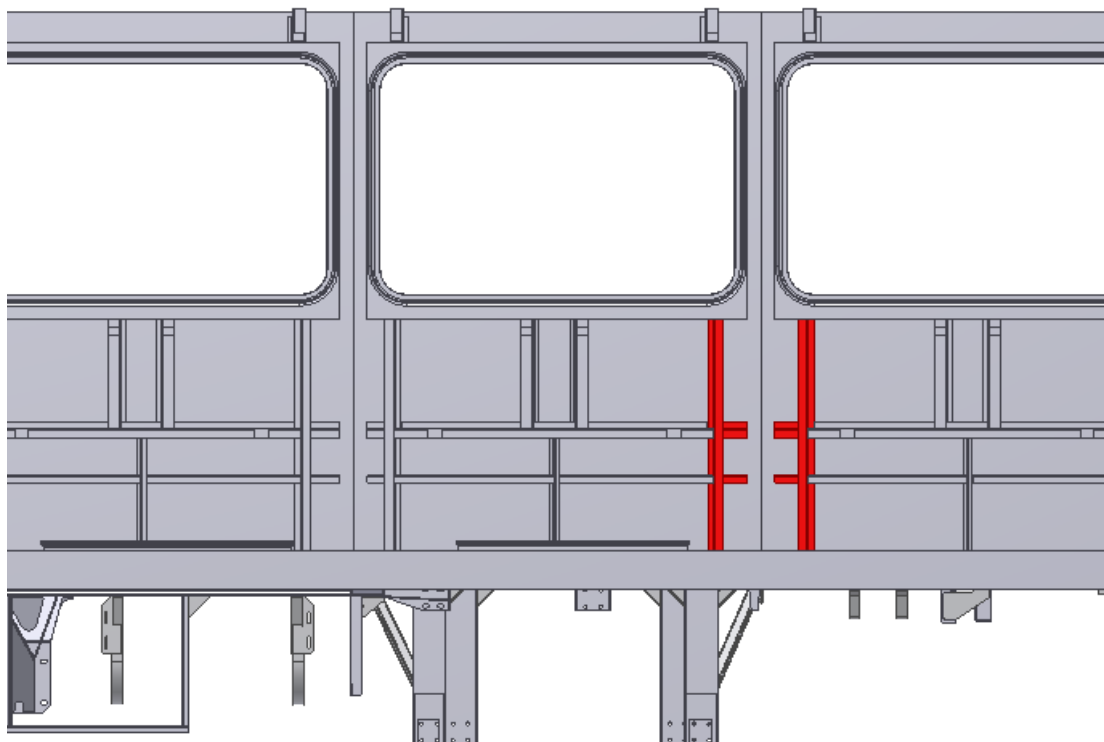
1.2.2 Díly sloupků

Po úpravě vnitřních okenních ráků je možné na obrázku obr.4 vidět výztuhy, které spojují vnější rámy oken s vnitřními a zvyšují tuhost sloupku, v obrázku obr.4 jsou označeny červenou šipkou. Krom nich jsou v konstrukci bočnice další podélné výztuhy a na jedné z nich je navařena ploška sloužící pro ukotvení střední části sedaček, ta je v obrázku obr.4 označena modrou šipkou. Červeně značené díly sloupku označují sloupek, kterým bude vedeno potrubí. Pro přehlednost byla v obrázku obr.4 vypnuta viditelnost vnitřních okenních ráků.



Obr.4: Díly pomyslných sloupků

Vzhledem k plánovanému vyztužení sloupku ocelovým profilem je nutné odstranit výztuhy označené červenou šipkou na obrázku obr.4 a přerušit ostatní výztuhy, aby bylo možné ocelový profil usadit. Úpravu znázorňuje obrázek obr.5. Díky těmto úpravám vznikne prostor pro nepřerušovaný ocelový profil, který bude mít délku 1969,5 mm od podlahy ke střešní vaznici. Šířka bude 100 mm a hloubka 51,5 mm.



Obr.5: Úprava dílů sloupků pro montáž ocelového profilu

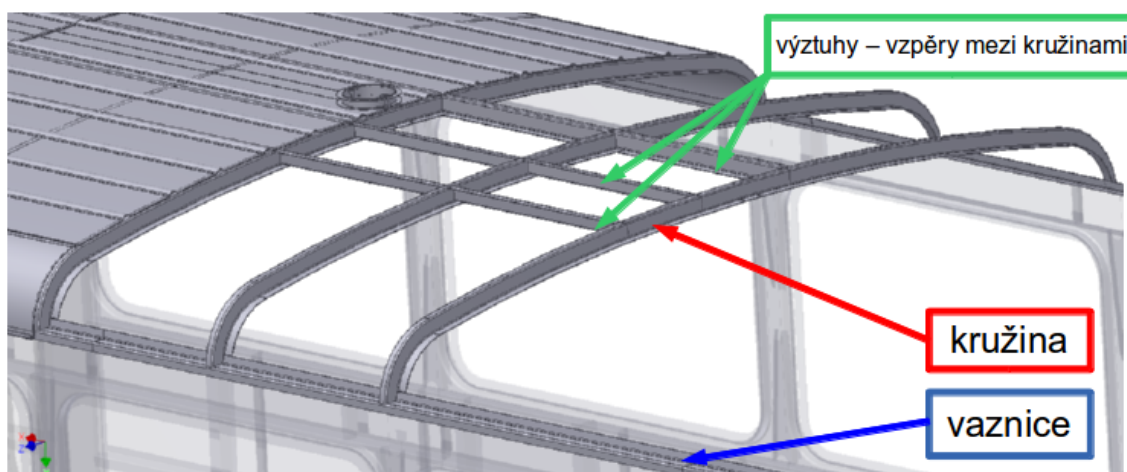
1.2.3 Střešní konstrukce

Střešní konstrukce se skládá z mnoha dílů, pohled na nosnou konstrukci je na obrázku obr.6 .



Obr.6: Odkrytá nosná střešní konstrukce

Na obrázku obr.7 jsou pak popsány základní díly té části střechy, která bude upravována. Pro přehlednost je odkryta pouze část střechy.



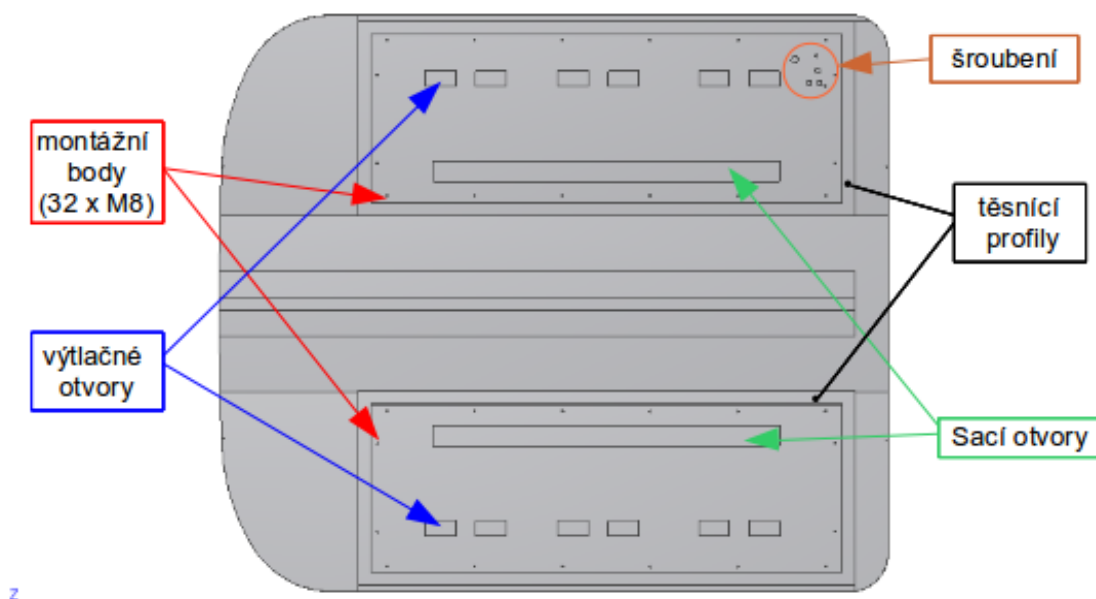
Obr.7: Popis základních dílů střešní konstrukce

1.2.4 Klimatizační jednotka

Vybraná klimatizační jednotka je primárně určena pro použití ve veřejné autobusové dopravě, kde střešní rádius je poměrně velký. Na výkresu klimatizační jednotky byla poznámka, že je určena pro střešní rádius 15 000 až 18 000 mm. Tento fakt bohužel vůz 814 nesplňuje, proto budou muset být upraveny i střešní plechy.

Jednotka je určena pro dopravu chladicího prostředku externím kompresorem umístěným ve spodní části vozu poháněného řemenem od pohonného ústrojí. Kromě klimatizační části v sobě zahrnuje i část teplovodního vytápění, to proto, aby bylo možné za různých teplotních podmínek udržovat nastavenou teplotu v oddíle cestujících. Klimatizační jednotka má hmotnost 210kg.

Dle výkresu klimatizační jednotky (viz Příloha 1) jsem vytvořil jednoduchý model, který byl později využit pro další úkony při rozměrovém návrhu dílů. Na modelu byly vytvořeny kromě upínacích bodů a těsnících profilů také nátrubky představující jednotlivá šroubení pro přívody a odvody chladicího prostředku a teplé vody topné části, dále odvodu vzduchu topné části a odvod zkondenzované vody. Mimo tyto důležité body byla vymodelována i přípojná místa sacích a výtlačných kanálů pro recirkulaci klimatizovaného vzduchu. Ty jsou potřebné, aby bylo při odečítání rozměrů v sestavě možné zvolit vhodnou výšku klimatizační jednotky nad střešními díly (kružinami, výztuhami mezi nimi) a zajistit tak možnost pozdějšího vytvoření rozvodných vzduchových kanálů. Obrázek obr.8 ukazuje spodní část modelu klimatizační jednotky a popisky v obrázku poskytnou základní informace o rozmístění jednotlivých, výše popisovaných dílů a přípojných míst.



Obr.8: Model klimatizační jednotky a popis přípojných oblastí

2 Návrh konstrukce

Při návrhu konstrukce jsem vycházel především z rozměrových vlastností klimatizační jednotky a konstrukce vozu 814. Dále jsem musel brát v potaz požadavek, že nesmí být přerušena střešní vaznice, což by mohlo vést k narušení tuhosti konstrukce vozu.

2.1 Technologie výroby a materiál konstrukce

Dle konzultací s odborníkem ve firmě Pars nova a.s. byla dohodnuta technologie, jakou budou jednotlivé díly konstrukce vyráběny. Vzhledem k nevhodným rozměrům a hmotnostem normalizovaných ocelových profilů je volena výroba nenormalizovaných profilů plasmovým dělením plechu za následného ohýbání případně zakružování do finálního tvaru. Složitější díly budou svařované z více plechových dílů.

Jako polotovary volím ocelové plechy tloušťky 2mm. Pro toto použití vyhovuje běžná konstrukční ocel ČSN EN 10 027-2 1.0036 (S235JRG1). Mechanické vlastnosti oceli jsou uvedené v tabulce tab.3.

Tab.3 – Vybrané základní mechanické vlastnosti oceli [6]

Značení oceli dle:			Vybrané mechanické vlastnosti	
ČSN 42 0002	ČSN 10 027-1	ČSN EN 10 027 -2	Re [MPa]	Rm [MPa]
11 373	S235JRG1	1.0036	186 - 235	363 - 481

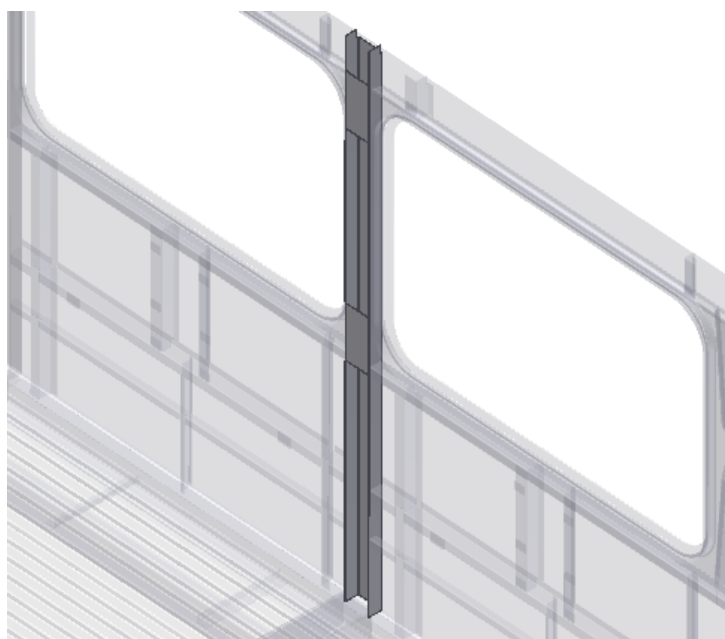
Tato ocel má dobrou svařitelnost a bude svařována svařovací technologií 135 (MAG – Metal Active Gas) v ochranném plynu. Tato technologie je běžně využívána díky velké produktivitě a kvalitě svarových spojů při malém množství vneseného tepla, což mimo jiné snižuje riziko zkroucení svařované konstrukce. Předpokladem jsou však vhodně nastavené svařovací parametry, vhodné rozmístění a určené pořadí svařovaných spojů.

2.2 Návrh jednotlivých dílů

Podle navržených úprav konstrukce vozu vznikly rozměrově vymezené prostory pro jednotlivé díly zesilující stávající konstrukci.

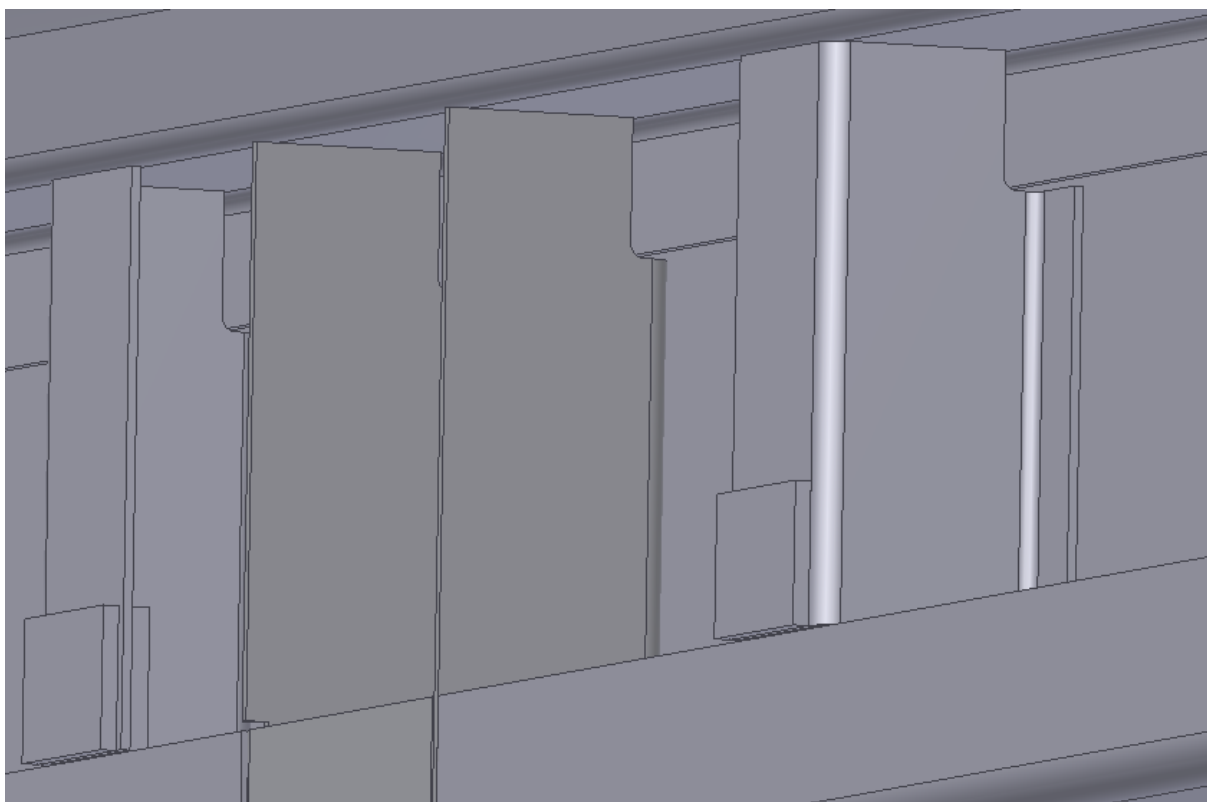
2.2.1 Vyztužení sloupků

Výztuhu sloupku mezi okny tvoří ohnutý ocelový profil tvaru písmene „U“. Tento profil využívá maximální možný prostor, který mu navržené úpravy umožní. Na obrázku obr.9 je pohled na navržený díl výztuhy sloupku.



Obr.9 – Výztuha sloupku

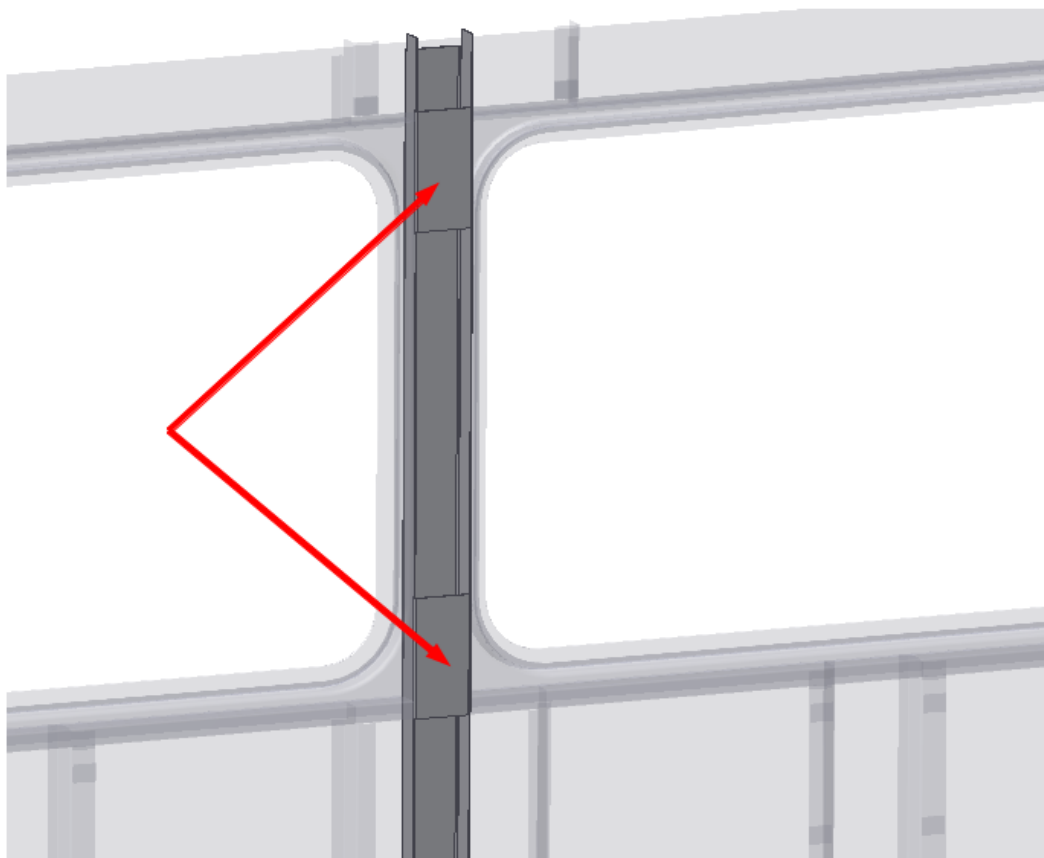
Protože byl dán požadavek, že se nesmí přerušit střešní vaznice, která je také vytvořena ohýbáním ocelového plechu, bylo nutné upravit horní část výztuhy sloupku tak, aby nedošlo ke kolizi s ohybem plechu vaznice. Tato úprava je detailněji zobrazena na obrázku obr.10.



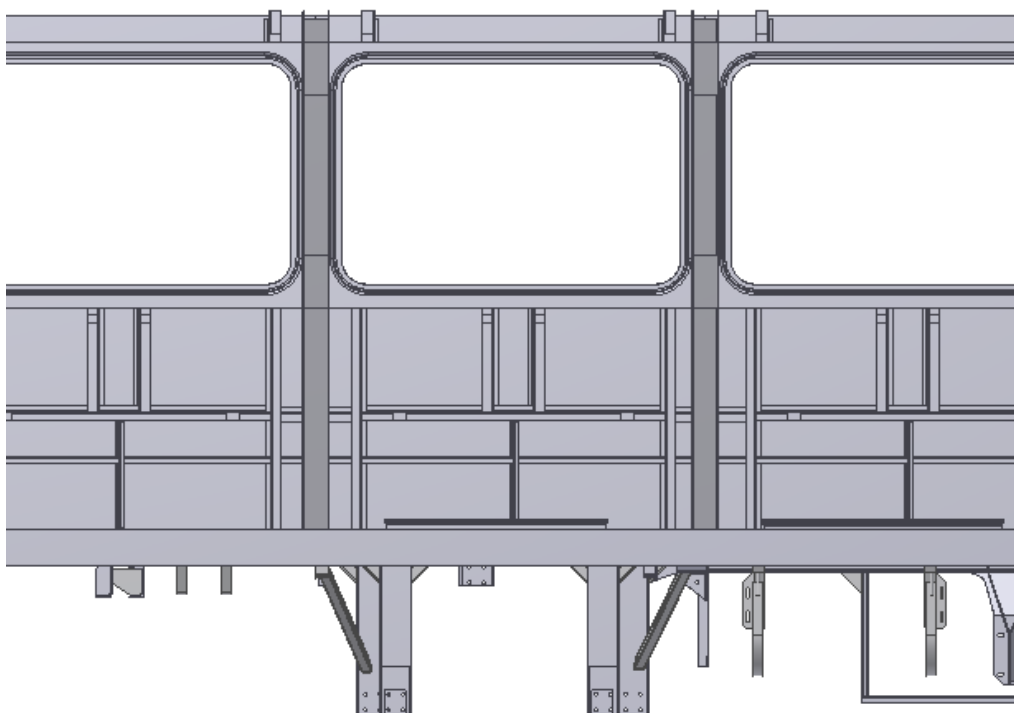
Obr.10 – Úprava horní části výztuhy sloupku

Kromě této úpravy bylo třeba profil na dvou místech uzavřít, a částečně tak nahradit vyříznuté vnitřní okenní rámy. Díky tomuto zůstane profil z velké části otevřený, což je výhodné pro plánované vedení potrubí s chladícím prostředkem a potrubí topné části. Přitom bude zachován možný přenos zatížení mezi vnitřními okenními rámy, jako tomu je u neupravené konstrukce. Tyto plechy jsou z jedné strany ohnuté a z druhé strany připravené pro tupý svarový spoj. Jsou označeny červenými šipkami na obrázku obr.11.

Celkový pohled na sloupky umístěné v konstrukci je na obrázku obr.12. Takto jsou upraveny celkem 4 sloupky nacházející se v oblasti pod klimatizační jednotkou. Tímto zesílením jsou bočnice vozu připraveny na úpravu střešní konstrukce.



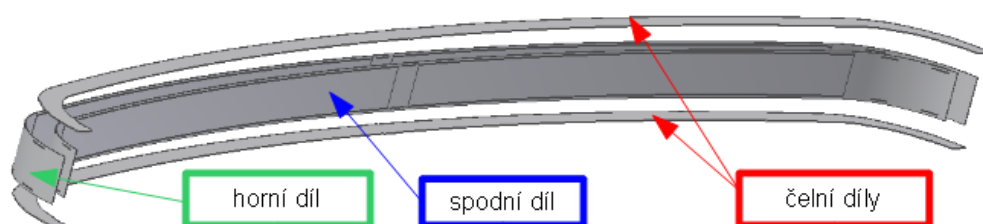
Obr.11 – Ohnuté výztuhy sloupku



Obr.12 – Pohled na vyztužené sloupky bočnice vozu

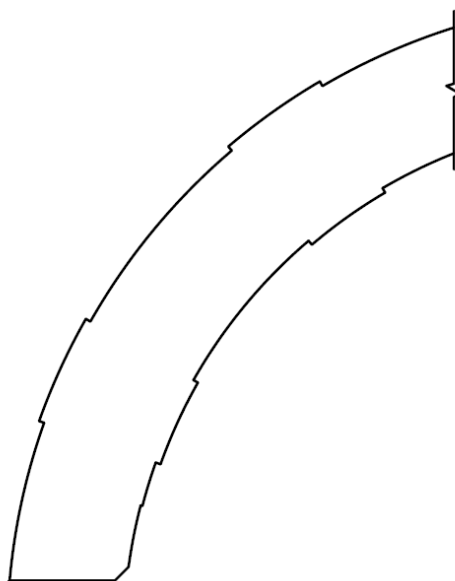
2.2.2 Střešní kružiny

Po odstranění původních kružin byl proveden návrh nových, zesílených kružin. V průběhu jedné konzultace ve firmě Pars nova a.s. byla zadána vhodná technologie výroby, která je sice jednodušší než zakružování profilu, ale za to vyžaduje velké množství svarových spojů a odpovídající přípravek, který umožní správné ustavení jednotlivých dílů. Na základě tohoto byla navržena kružina skládající se ze 4 dílů. Tyto díly jsou popsány na obrázku obr.13. Horní a dolní plechové pásy budou zakruženy na správné rozměry a následně svařeny s čelními díly.



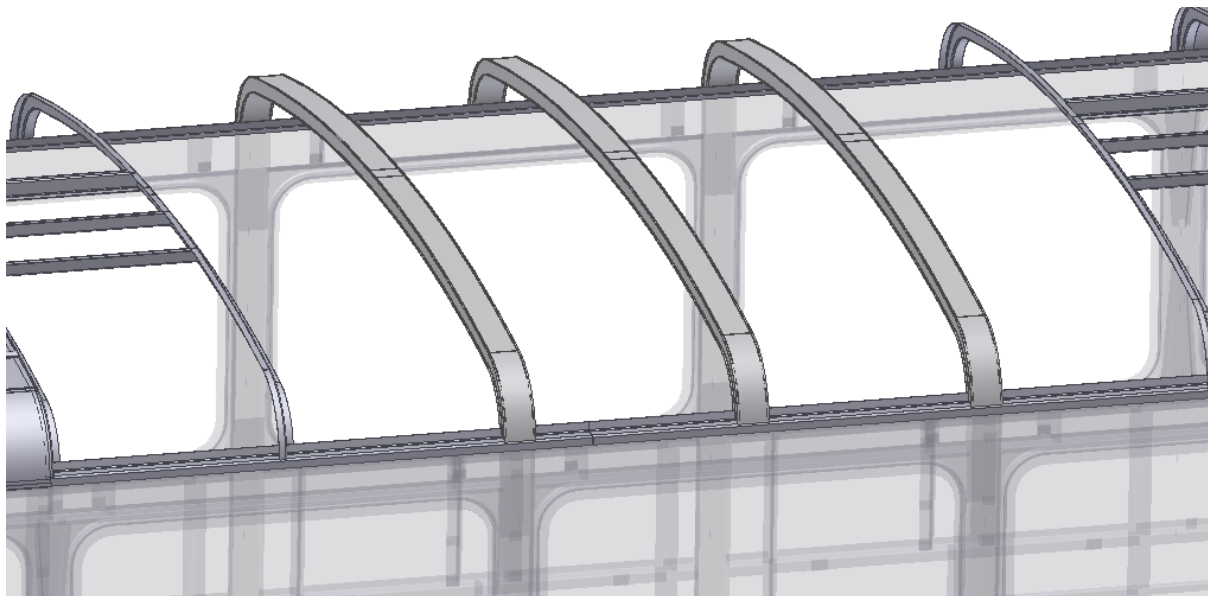
Obr.13 – Díly kružiny

Dostal jsem zároveň doporučení, vytvořit na čelních dílech výstupky, které se zacvaknou do příslušných výřezů v zakružených pásech, což usnadní přípravné sestavení před samotným svařováním. Detail krajní části čelního dílu kružiny je na obrázku obr.14.



Obr.14 – Detail výstupků čelního dílu kružiny

Počet zesílených kružin je stejný jako předchozí, tj. 3 kusy. Dvě kružiny jsou nad zesílenými sloupky a třetí je mezi těmito dvěma kružinami. Vnější rozměry, kopírující střešní profil a vnitřní profil stropu jsou shodné s původními. Liší se však šířka kružin a tvar výsledného profilu. Nově navržené kružiny jsou proto naprosto vyhovující a také tužší, než původní. Umístění kružin znázorňuje obrázek obr.15.



Obr.15 – Kružiny umístěné v konstrukci

2.2.3 Vzpěry mezi kružinami

Vzpěry mezi sousedními a novými kružinami lze použít původní. Je třeba je v místech spojení s novými kružinami zkrátit. Vzpěry mezi novými kružinami jsou součástí úchytů klimatizační jednotky. Použití zkrácených původních vzpěr znázorňuje obrázek obr.16.

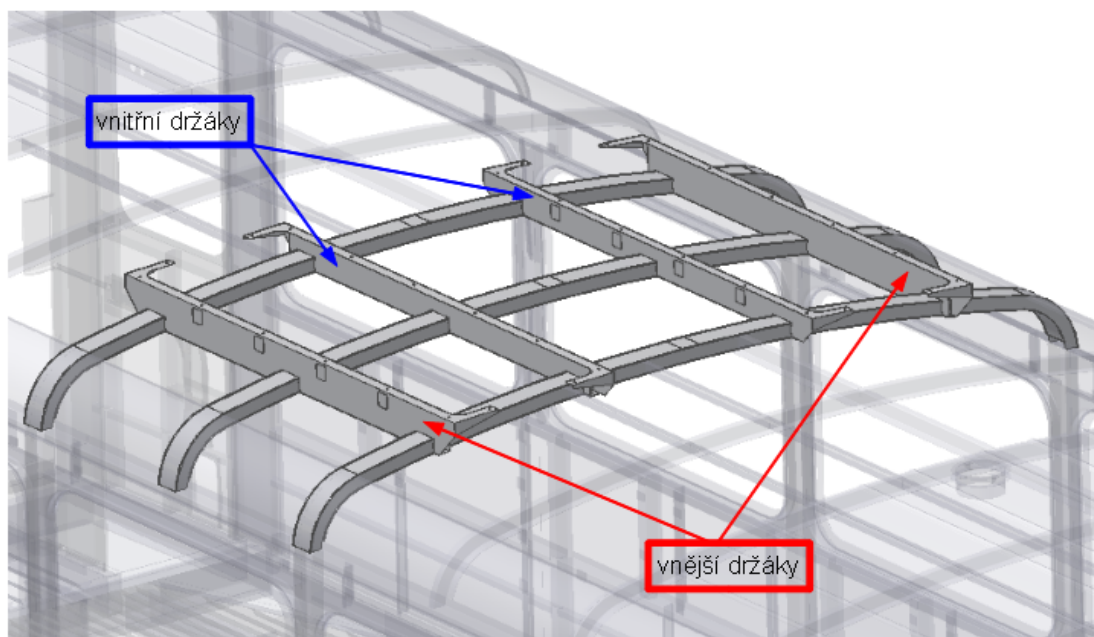


Obr.16 - Zkrácené vzpěry mezi kružinami

2.2.4 Úchyty klimatizační jednotky

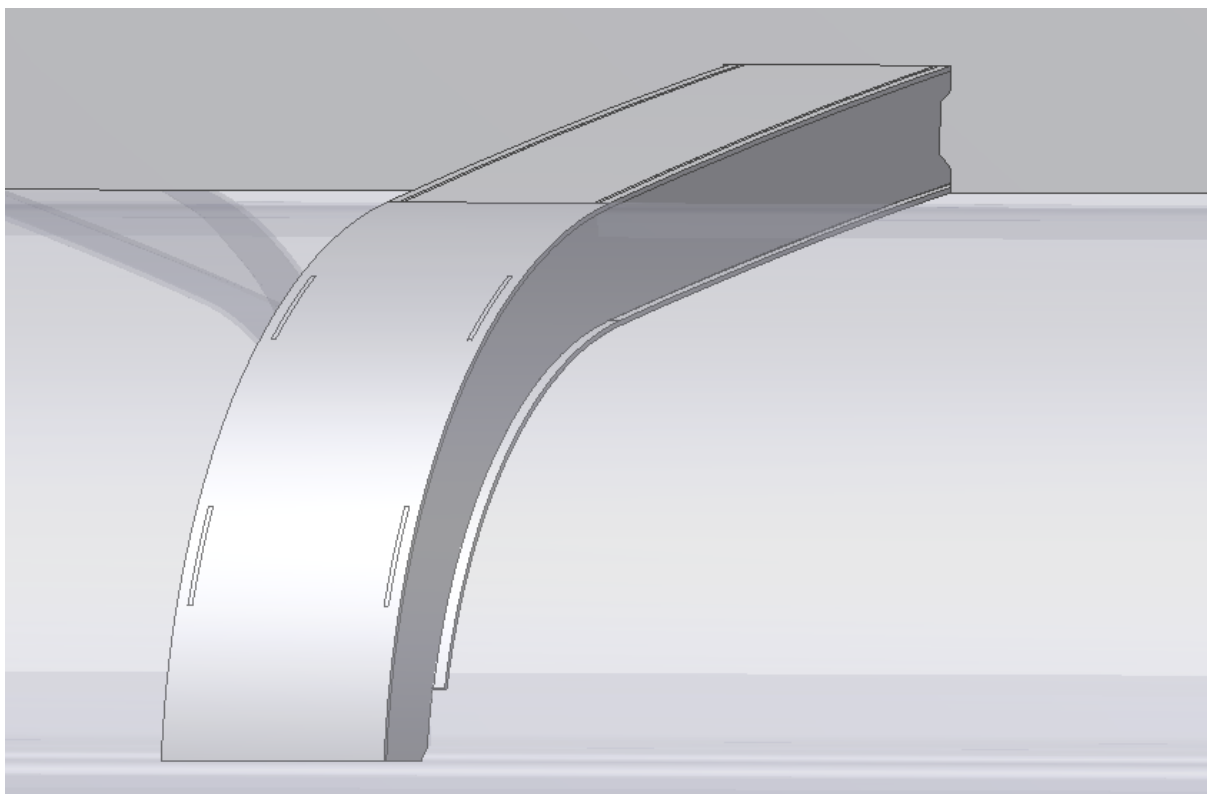
Úchyty klimatizační jednotky jsou navrženy tak, aby bylo možné je naohýbat z jednoho plechového polotovaru. Úchyty zároveň tvoří vzpěry mezi kružinami což je pozitivní zejména z pohledu menšího výskytu svarových spojů a tedy i možných vad. Snižuje se tak i riziko zkroucení konstrukce působením teplotních cyklů svařování.

Klimatizační jednotka má dva skloněné obdélníkové sektory, kde v každém z nich se kromě sacích a výtlačných kanálů nachází i posuvné upínací body. Celkem se jedná o 32 kusů matic M8 rozmístěných po obvodech obou sektorů. Z rozměrů vyplývajících z výkresu klimatizační jednotky (viz Příloha 1) jsem byl nucen vytvořit dva rozdílné druhy úchytů. Ty jsem nazval vnitřní a vnější. Rozdíly jsou v rozteči několika montážních otvorů a vnějších rozměrech úchytů, které vyplynuly z rozdílu doporučeného střešního profilu a skutečného, jaký je použit v konstrukci vozu 814. Koncepce je však stejná, což je patrné z obrázku obr.17.

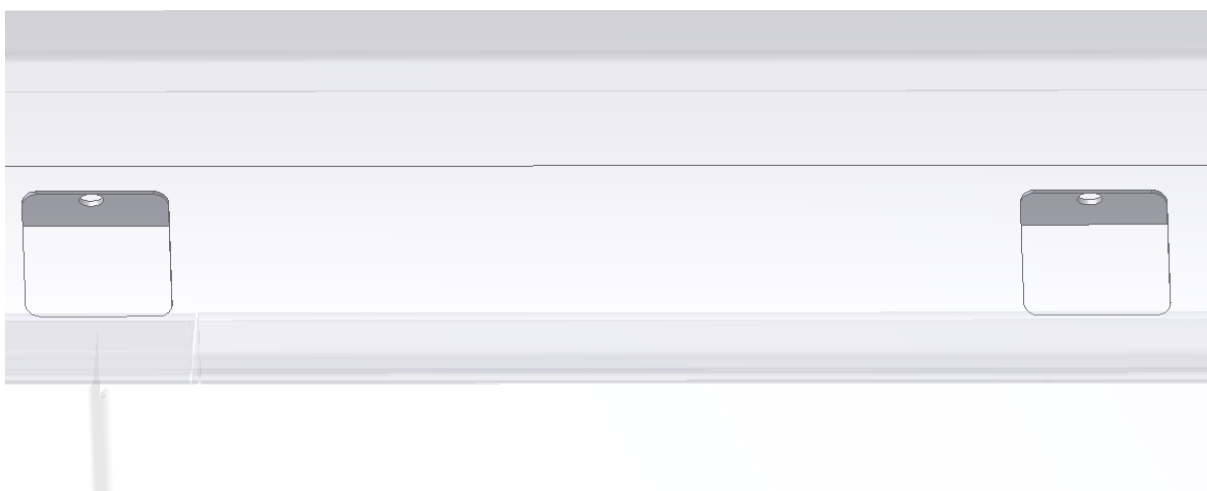


Obr.17 - Vnitřní a vnější úchyty klimatizační jednotky

Na úchytech jsou průchody pro střešní kružiny. Ty mají navržený tvar tak, aby bylo možné je vhodně svařit s kružinou. Detail je na obrázku obr.18. Mimo tyto průchody jsou zde vytvořeny zaoblené otvory pro montáž upínacích šroubů. Bez nich by montáž nebyla možná, jelikož profil je poměrně dlouhý a z velké části uzavřený. Bližší pohled poskytuje obrázek obr.19.



Obr.18 - Průchody pro střešní kružiny



Obr.19 - Otvory pro montáž upínacích šroubů

3 Základní dimenzování navržené svařované konstrukce

Po dohodě s vedoucím práce a odborníkem ve firmě Pars nova a.s. jsem se rozhodl ověřit navržené díly metodou konečných prvků prostřednictvím pevnostní analýzy obsažené

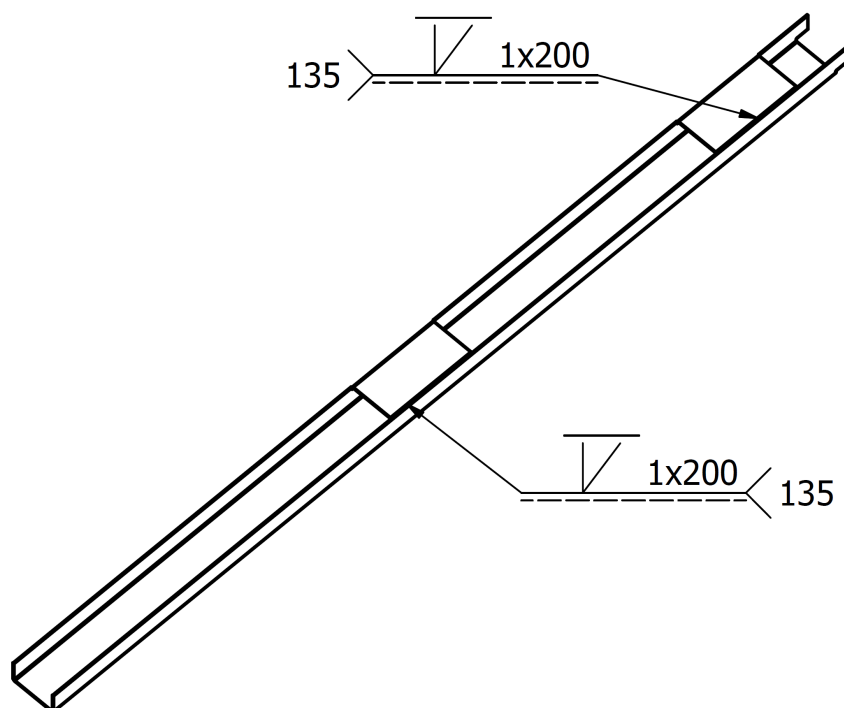
v programu Autodesk Inventor 2011. Tento způsob kontroly je pro mě výhodný, protože v tomto programu (verze 2010) byly vytvořeny všechny nové díly a provedeny úpravy celé konstrukce.

3.1 Volba typů svarů a jejich rozmístění na konstrukci

Před samotnou pevnostní analýzou je třeba navrhnout svarové spoje vyskytující se na jednotlivých dílech. Analyzovány pak budou pouze samotné díly s již navrženými svary.

3.1.1 Svarové spoje na výztuže sloupku

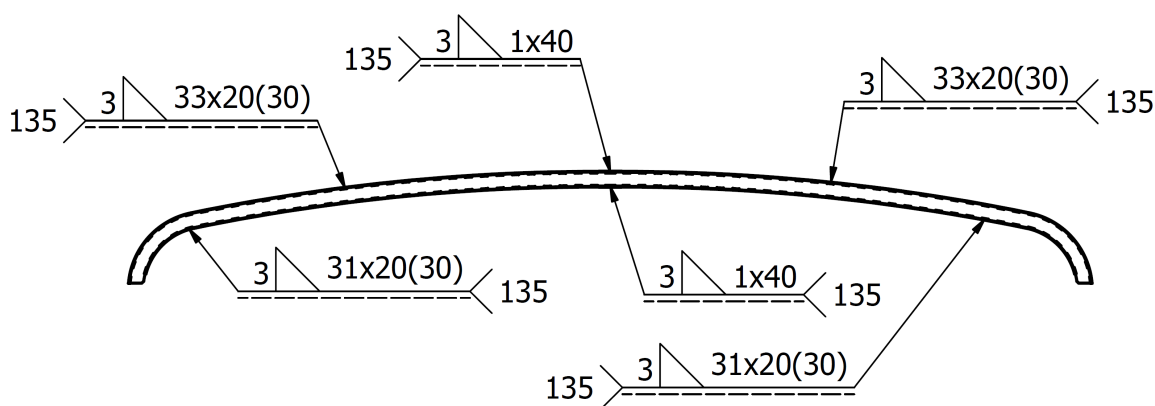
Výroba samotné výztuhy sloupku vyžaduje použití dvou svarových spojů. Tyto tupé svary jsou označeny na obrázku obr.20. Tupé svary jsem volil z hlediska vyšší únosnosti a také z rozměrových omezení při úpravách konstrukce vozu.



Obr.20 - Svarové spoje výztuhy sloupku

3.1.2 Svarové spoje na střešní kružině

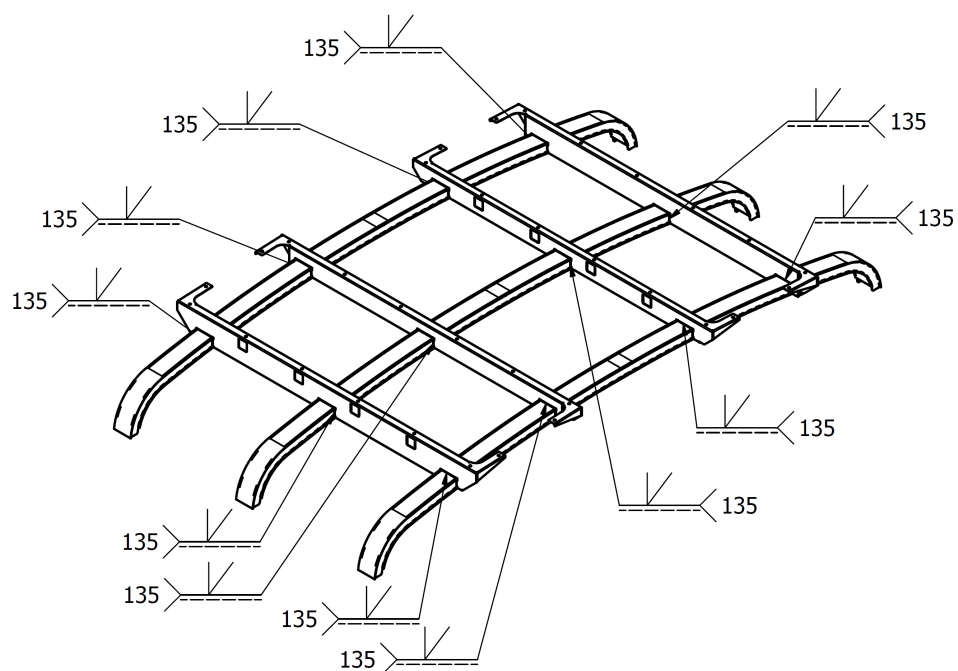
Navržená technologie výroby střešní kružiny ze čtyř plechových dílů vyžaduje jejich spojení koutovými svary. Vzhledem k velkým rozměrům je k dispozici poměrně velký prostor pro chyby. Proto by bylo vhodné vytvořit přípravek, který zajistí správné ustavení dílů při svařování a k tomu zvolit vhodné pořadí svařování jednotlivých svarových housenek. Střešní kružina bude převážně stehována 20 mm dlouhými svary s 30 mm mezerami, jak je patrné z obrázku obr.21. Stejně by měla být svařována i druhá strana střešní kružiny. Stehování je zde vhodné z důvodu výrazného snížení množství vneseného tepla a tím také rizika zkroucení konstrukce. Dále se ušetří čas i velké množství přídavného materiálu.



Obr.21 – Svarové spoje střešní kružiny

3.1.3 Svarové spoje mezi kružinami a úchyty klimatizační jednotky

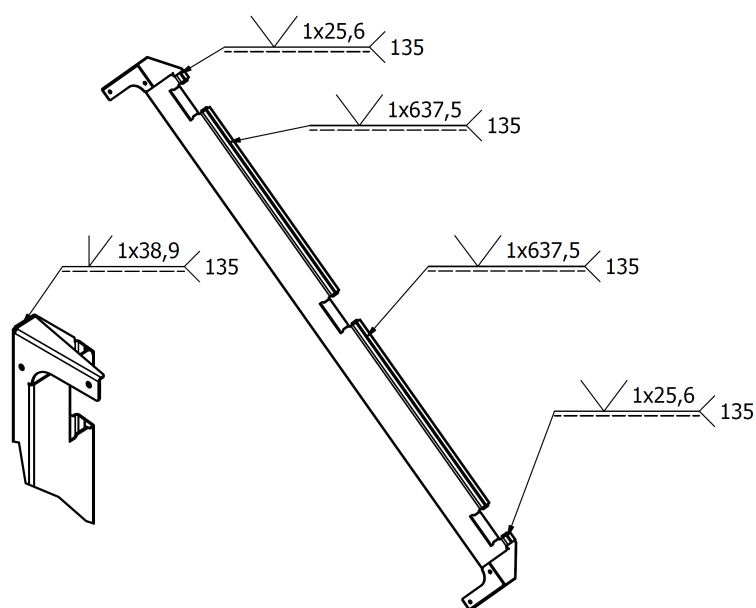
Zde jsem volil pouze tupé svary, konkrétně poloviční V – svary. To proto, že jsou na velmi důležitých místech a jak jsem již zmínil mají vyšší únosnost než koutové svary. Převážná část tlakového zatížení od klimatizační jednotky působí ve svislém směru přes úchyty klimatizační jednotky přímo na střešní kružiny. Stěny úchytů jsou ve svislém směru, aby nedocházelo k ohybu svarů pouhým statickým zatížením. V konstrukci jsou svary ve vodorovném směru – ty přenášejí zatížení od klimatizační jednotky na kružiny a dále jsou zde svislé svary, fixující úchyty s čelními díly kružin. Na obrázku obr.22 jsou vyznačeny všechny typy svarů, které se na konstrukci nacházejí, nicméně pro přehlednost nejsou značeny na všech spojích úchytů s kružinami.



Obr.22 – Svarové spoje mezi úchyty klimatizační jednotky a kružinami

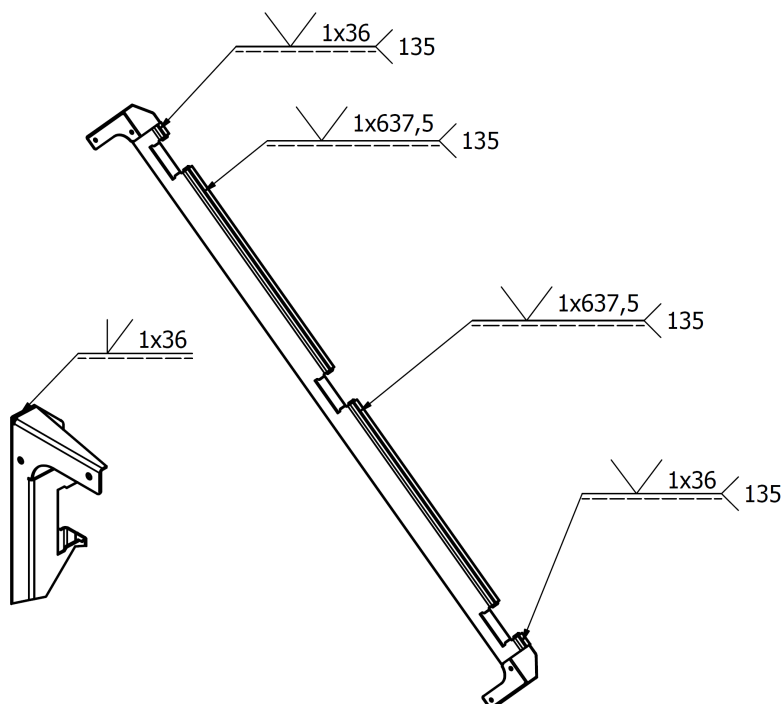
3.1.4 Svarové spoje úchytů klimatizační jednotky

Svarové spoje vnějších úchytů klimatizační jednotky jsou zobrazeny v pohledech na obrázku obr.23. Všude jsou použity tupé svary, které si vyžádalo navržené konstrukční řešení.



Obr.23 – Svary vnějších úchytů klimatizační jednotky

Stejným způsobem jsou navrženy i vnitřní úchyty klimatizační jednotky, tudíž jsou zde použity stejné typy svarových spojů. Ty jsou na obrázku obr.24.



Obr.24 – Vnitřní úchyty klimatizační jednotky

3.2 Pevnostní kontrola navržených dílů

Statické zatížení dílů vyplývá ze zadané hmotnosti $m = 370\text{kg}$. Provozní zatěžující hmotnost však bude nižší, protože klimatizační jednotka má hmotnost 210kg . Takové předimenzování je nutné, protože se při případné opravě na střeše vozu vyskytují 2 osoby. Na střeše vozu může být v zimním období i vrstva ledu a sněhu. Zatížení je přes úchyty přenášeno na střešní kružiny, které jej přenášejí dále na střešní vaznice. Výztuhy sloupků by měly zachytit velkou část tlaků. Dynamické chování takovéto konstrukce však nejsem schopen objektivně posoudit, toto by mohly objasnit další studie případně zkušenost z provozu. Tíhová síla F_G odpovídající zatížení hmotností $m = 370\text{kg}$ je dána vztahem (1). Dosazení je ve vztahu (2) a výsledná tíhová síla ve (3).

$$F_G = m \cdot g \quad (1)$$

$$F_G = 370 \cdot 9,81 \quad (2)$$

$$F_G = 3629,7 \text{ N} \quad (3)$$

3.2.1 Pevnostní kontrola výztuhy sloupku

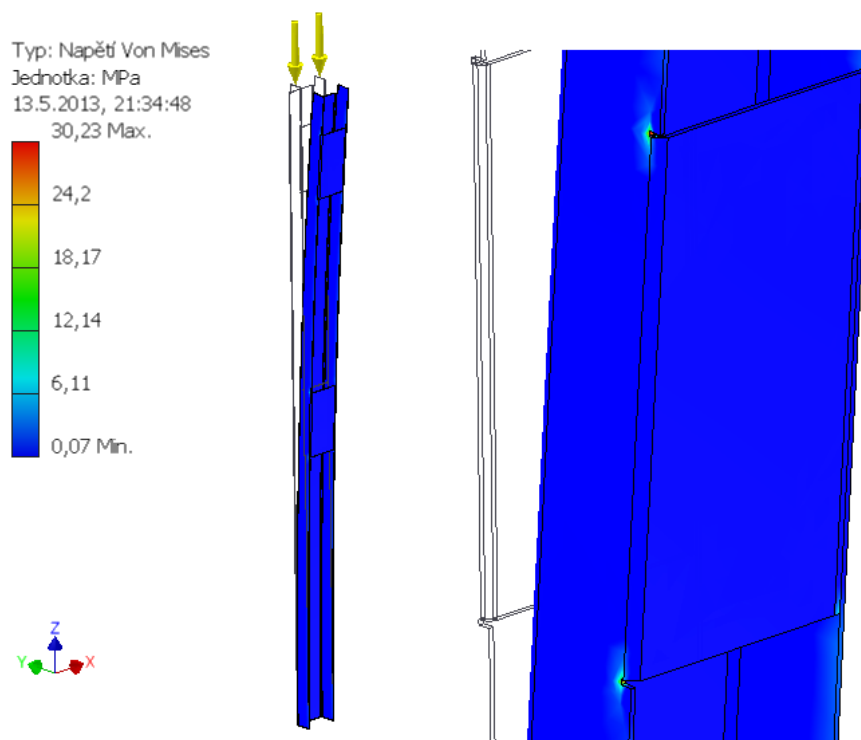
Zanedbáme-li fakt, že zatížení se bude přes střešní vaznici částečně přenášet dále do konstrukce vozu, můžeme hovořit o tom, že při vyztužených čtyřech sloupcích se bude zatěžující síla F_{GS} jednoho sloupku rovnat jedné čtvrtině tíhové síly F_G .

$$F_{GS} = \frac{F_G}{4} \quad (4)$$

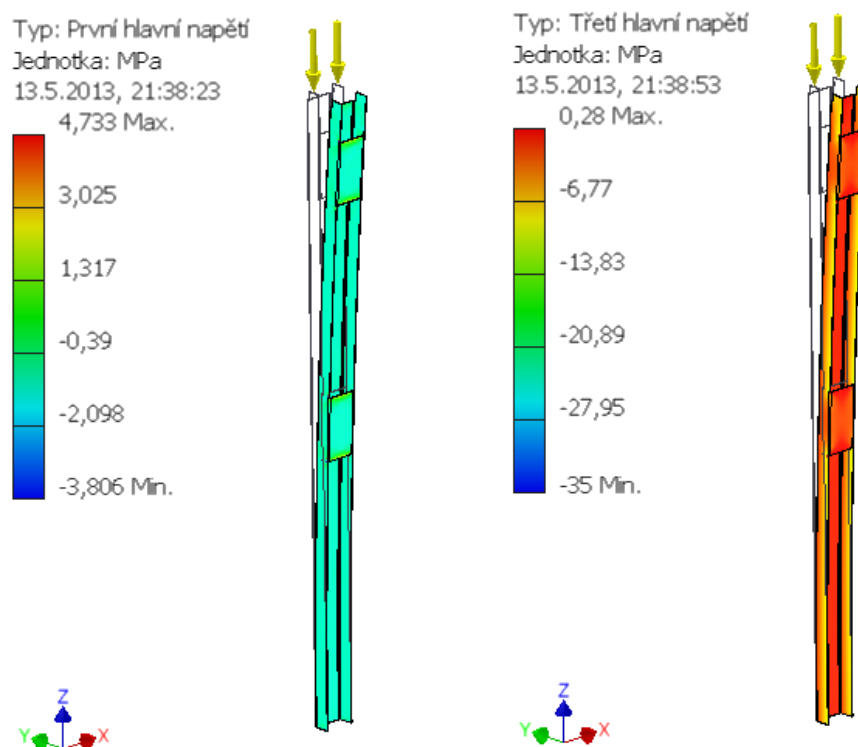
$$F_{GS} = \frac{3629,7}{4} \quad (5)$$

$$F_{GS} \approx 907,4 \text{ N} \quad (6)$$

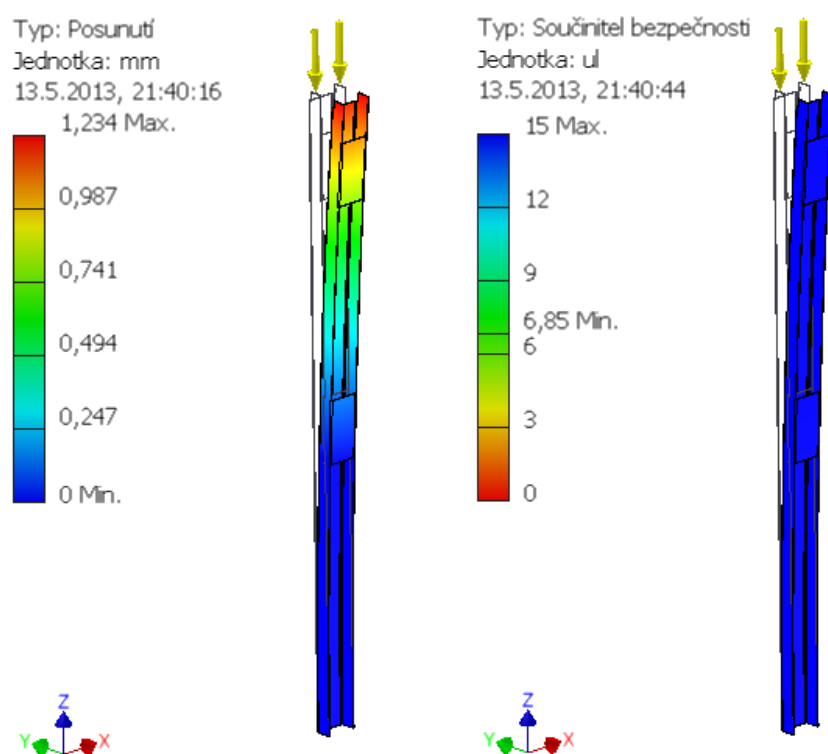
Výsledky pevnostní analýzy jsou na obrázcích obr.25, obr.26, obr.27. Napětí v celém sloupku je minimální, pouze v místech hran ohybů a svarových spojů se objevují drobná zvýšení napětí. Tomu by mohlo pomoci zaoblení hran. Odklon výztuhy sloupku je způsoben také tím, že v modelu nebylo nastaveno, že zadní stěna sloupku bude na několika místech svařena s vnějšími okenními rámy. Proto je také vidět, že sloupek se přibližně od poloviny začíná odklánět. Maximální hodnota posunutí je přibližně 1,2 mm, tomuto posunu bude zamezeno vestavěním do samotné konstrukce vozu. Sloupek vyhovuje zadanému zatížení.



Obr.25 – Průběh napětí Von Mises ve výztuze sloupku



Obr.26 – První a třetí hlavní napětí ve výztuže sloupku



Obr.27 – Posunutí a součinitel bezpečnosti výztuhy sloupku

3.2.2 Pevnostní kontrola střešní kružiny

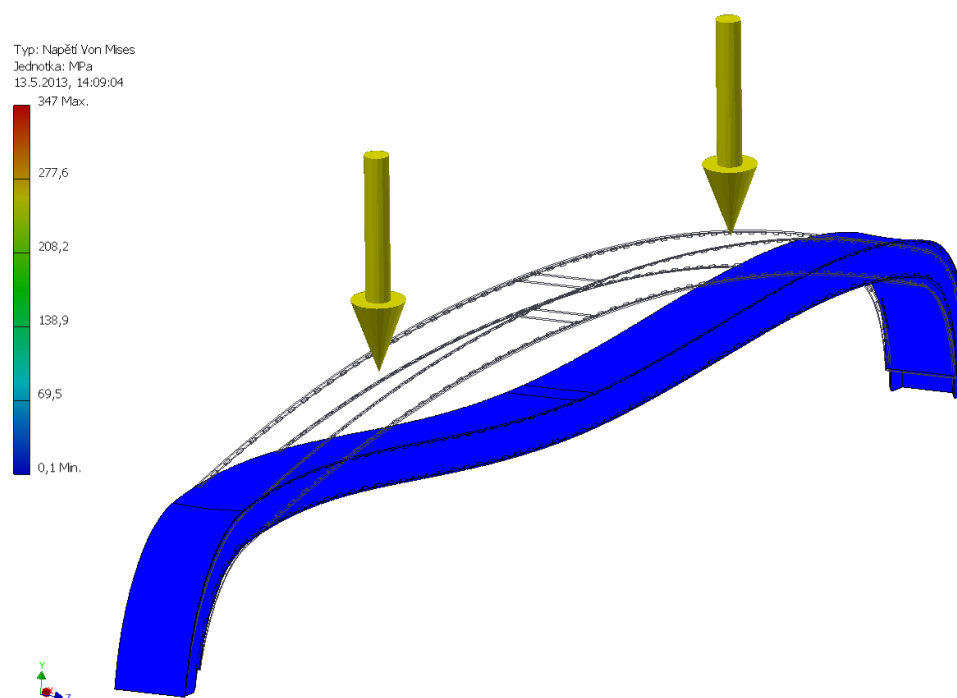
V případě střešní kružiny lze zjednodušeně uvažovat, že tíhová síla F_G se rozdělí mezi tři kružiny. Zatěžující síla jedné kružiny F_{GK} tedy bude jednou třetinou síly F_G .

$$F_{GK} = \frac{F_G}{3} \quad (7)$$

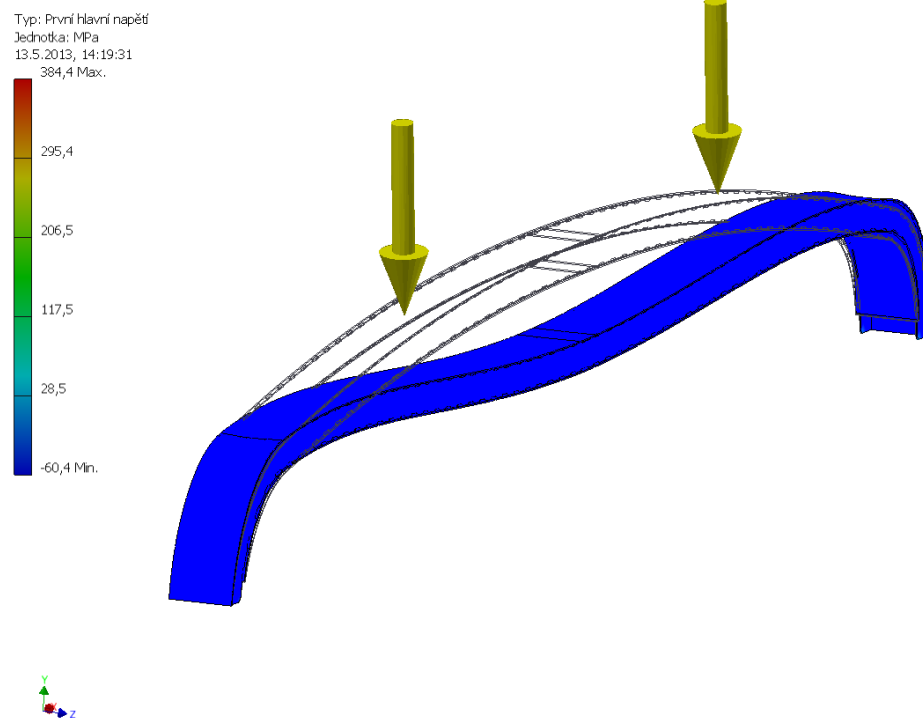
$$F_{GK} = \frac{3629,7}{3} \quad (8)$$

$$F_{GS} = 1209,9 \text{ N} \quad (9)$$

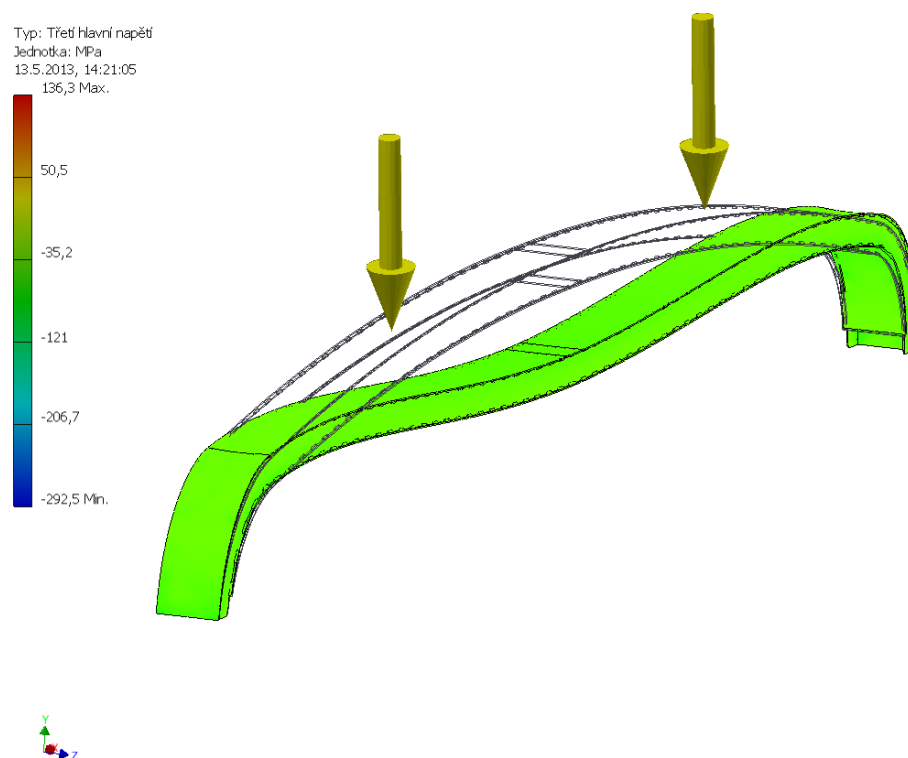
Po prozkoumání výsledků pevnostní analýzy jsem velice obtížně hledal, kde se vyskytují místa s tak vysokým napětím, když celý svařenec střešní kružiny má nízkou napjatost. Tato místa jsem našel celkem 4. Jedná se o miniaturní body na přechodu mezi svarovou housenkou a základními materiály. Zajímavé je, že se nacházejí na přechodech oblouků, ze kterých se kružina skládá. Vypadá to, že výpočtový systém je vyhodnotil jako konstrukční vruby a v těchto místech bodově zjistil vysokou koncentraci napětí. Avšak vzhledem k faktu, že maximální posunutí v konstrukci bylo analyzováno na přibližně 0,52 mm lze považovat navrženou kružinu za vyhovující. Domnívám se, že to mohlo být způsobeno nedostatečným zadáním vstupních parametrů.



Obr.28 – Průběh napětí Von Mises ve svařenci střešní kružiny

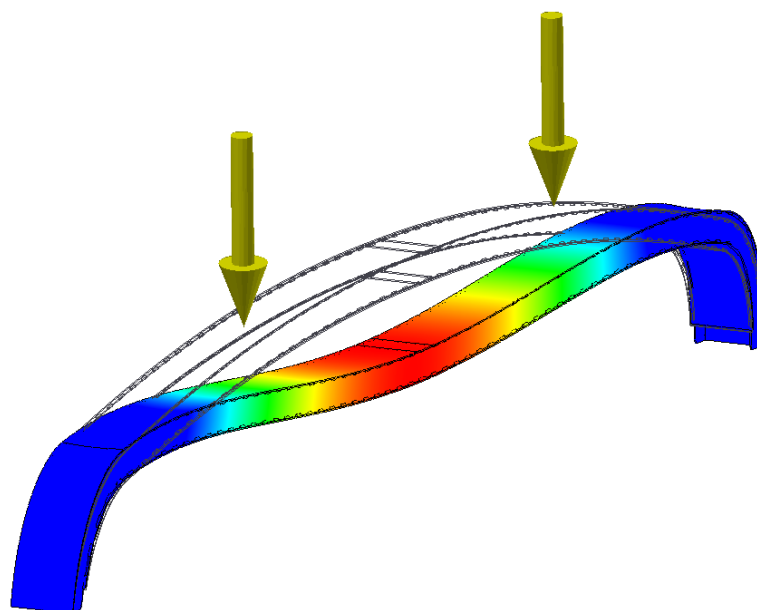
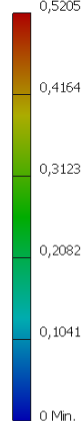


Obr.29 – Průběh prvního hlavního napětí ve svařenci střešní kružiny



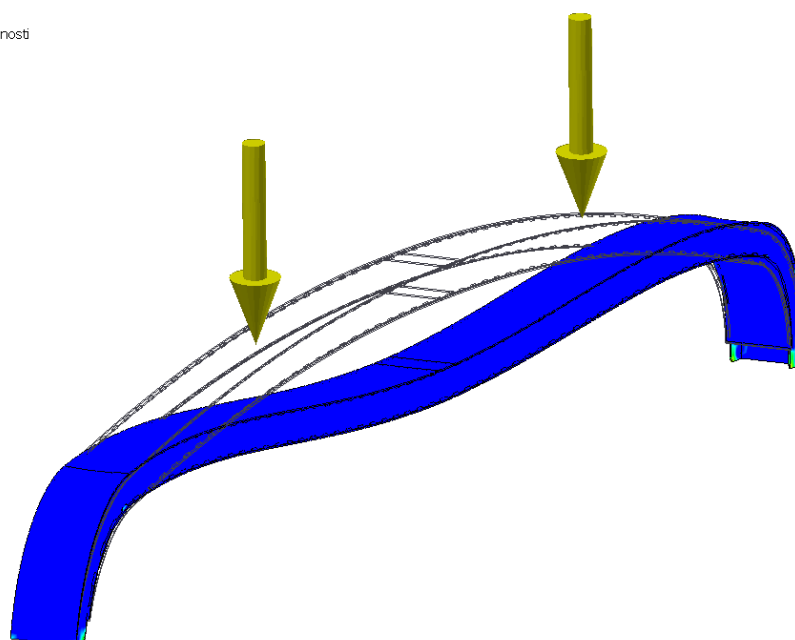
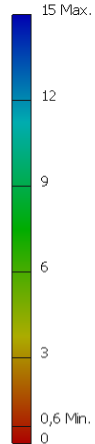
Obr.30 – Průběh třetího hlavního napětí ve svařenci střešní kružiny

Typ: Posunutí
Jednotka: mm
13.5.2013, 14:23:21
0,5205 Max.



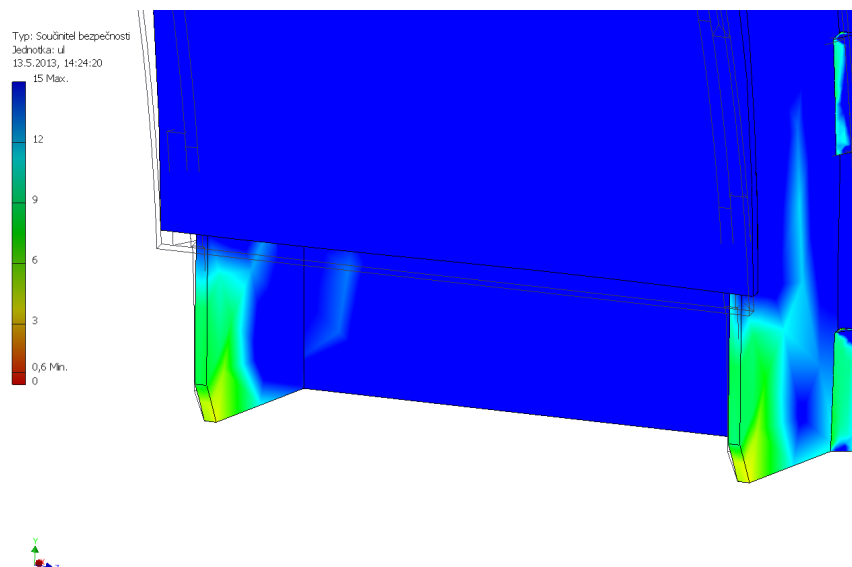
Obr.31 – Velikost posunutí svařence střešní kružiny

Typ: Součinitel bezpečnosti
Jednotka: ul
13.5.2013, 14:24:20
15 Max.



Obr.32 – Velikost součinitele bezpečnosti svařence střešní kružiny

Detailní pohled na patní část kružiny kde klesá hodnota součinitele bezpečnosti je na obrázku obr.33. Domnívám se, že tento stav je způsoben upevněním modelu na virtuální absolutně tuhou „podložku“, která tak umožní deformovat materiál modelu i v těchto místech. Ve skutečnosti je kružina umístěna na střešní vaznici, která není absolutně tuhá, tudíž je schopna se deformovat - prohnout.



Obr.33 – Detail patní části svařence střešní kružiny a součinitel bezpečnosti

3.2.3 Pevnostní kontrola úchytů klimatizační jednotky

Úchyty klimatizační jednotky jsou čtyři. Dva vnitřní a dva vnější. Přímou na ně je pomocí šroubových spojení přenášeno zatížení od klimatizační jednotky. Zde jsem uvažoval stejně jako v předchozích případech, tedy, že zatěžující síla jednoho úchytu klimatizační jednotky je jednou čtvrtinou tíhové síly F_G .

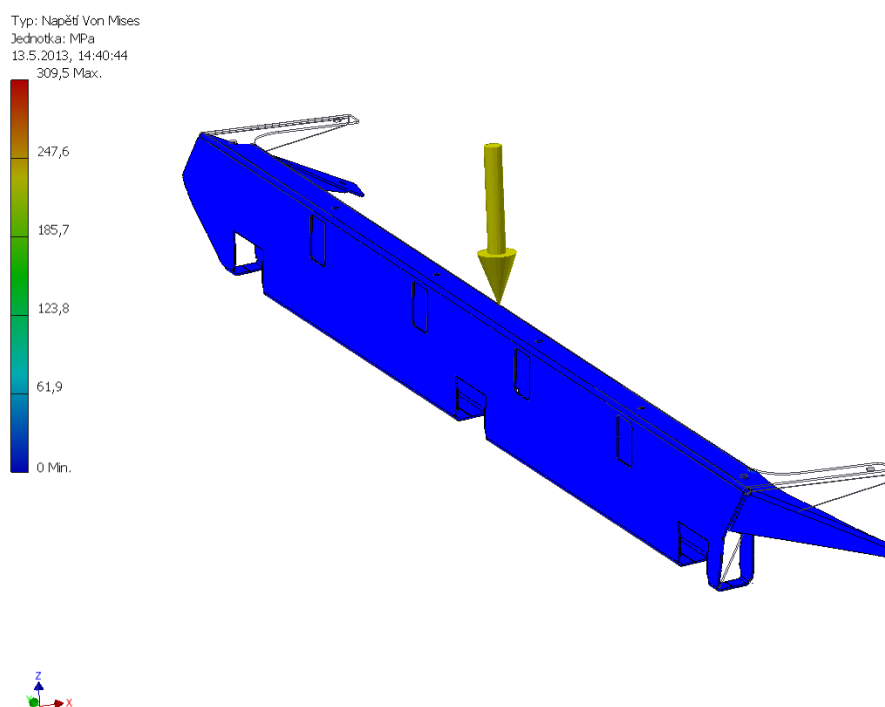
$$F_{GU} = \frac{F_G}{4} \quad (10)$$

$$F_{GU} = \frac{3629,7}{4} \quad (11)$$

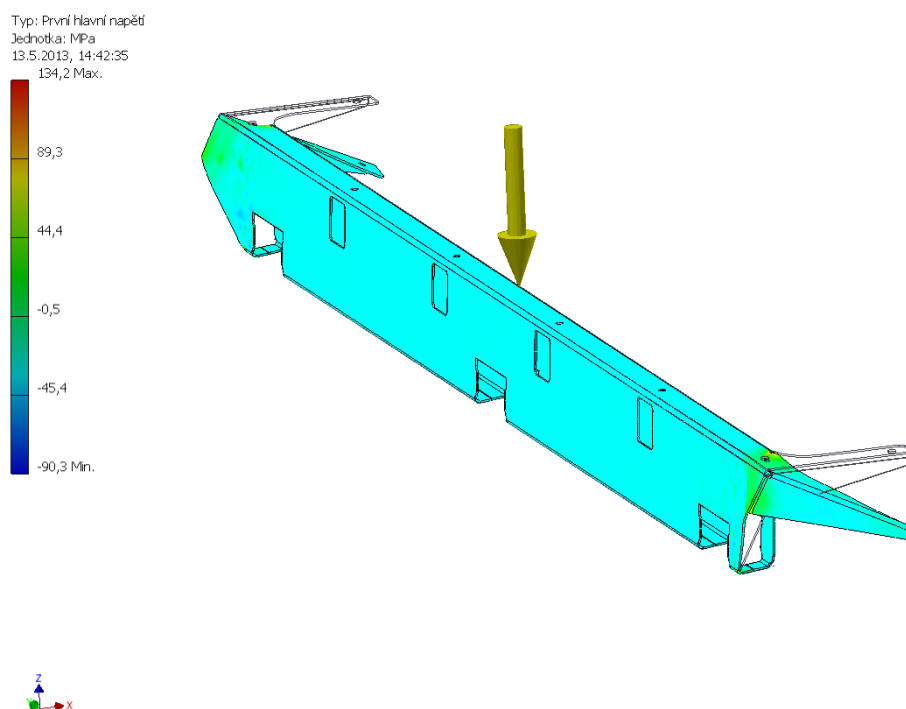
$$F_{GU} \approx 907,4 \text{ N} \quad (12)$$

I zde, podobně jako u předchozích analýz se objevovala drobná místa – ostré rohy ohybů plechu. Dále došlo ke zkroucení bočních držáků. K tomuto však dojít nemůže, jelikož jsou šrouby spojeny s klimatizační jednotkou, která při své hmotnosti (210kg) jistě má nějaký tuhý rám. Jinak je zde dobře vidět, jak z velké části uzavřený profil tvoří tuhou výztuhu

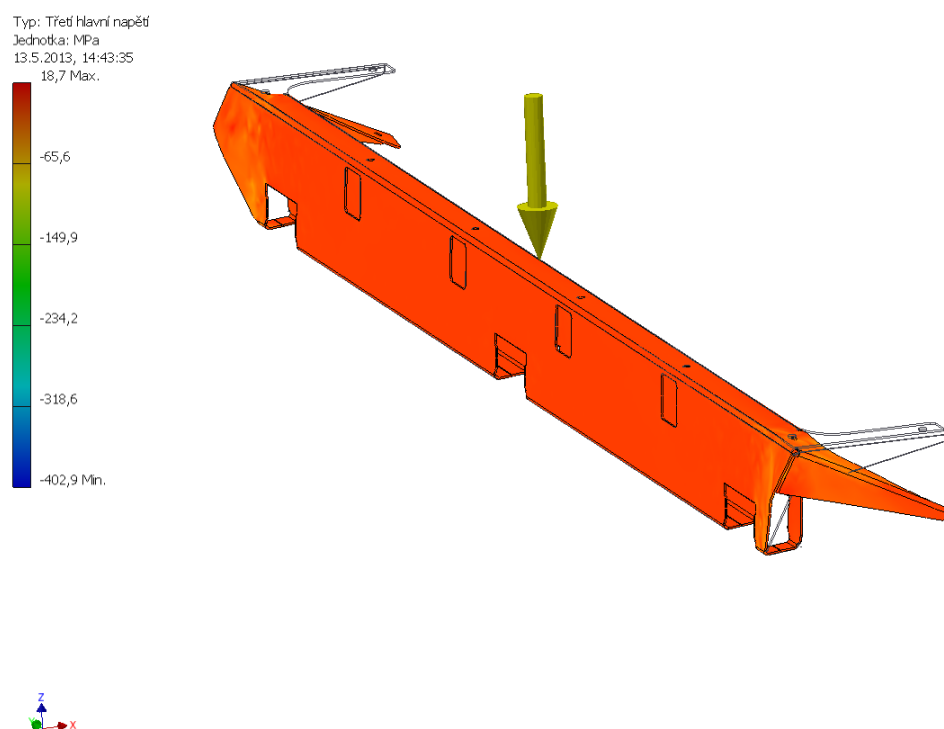
a poskytuje tak vhodný kompromis pro konstrukční řešení celé zástavby klimatizační jednotky a dostupné technologie. Na obrázcích obr.34 až obr.38 jsou výsledky pevnostní analýzy vnějších úchyťů a na obrázcích obr.39 až obr.43 jsou výsledky pro vnitřní úchyty.



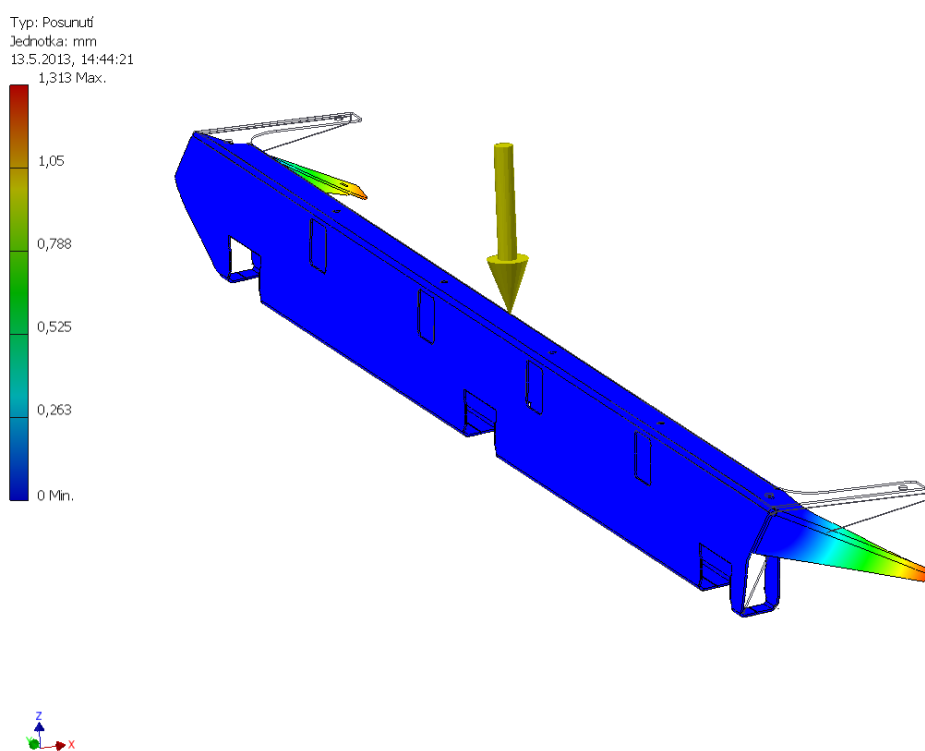
Obr.34 – Průběh napětí Von Mises, vnější úchyt klimatizační jednotky



Obr.35 – První hlavní napětí, vnější úchyt klimatizační jednotky

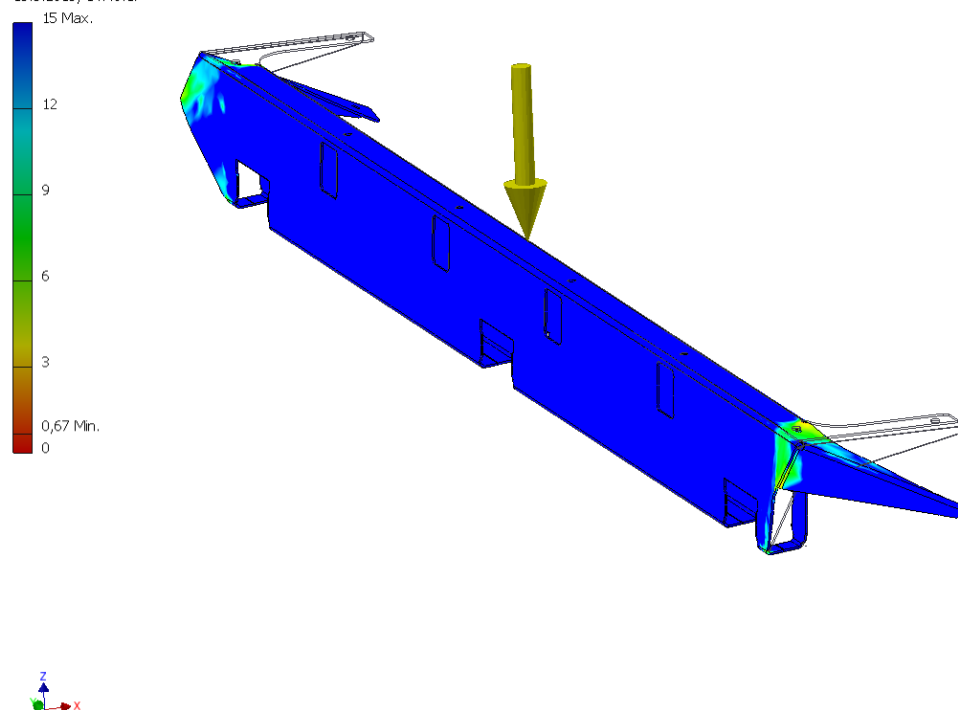


Obr.36 – Třetí hlavní napětí, vnější úchyt klimatizační jednotky



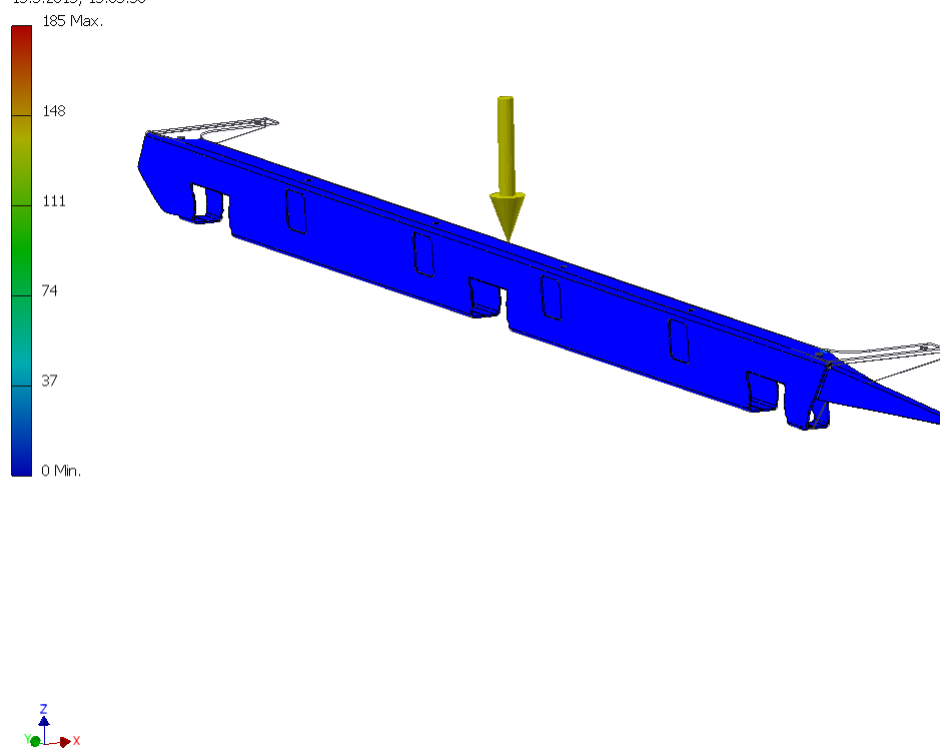
Obr.37 – Posunutí, vnější úchyt klimatizační jednotky

Typ: Součinitel bezpečnosti
Jednotka: ul
13.5.2013, 14:46:17



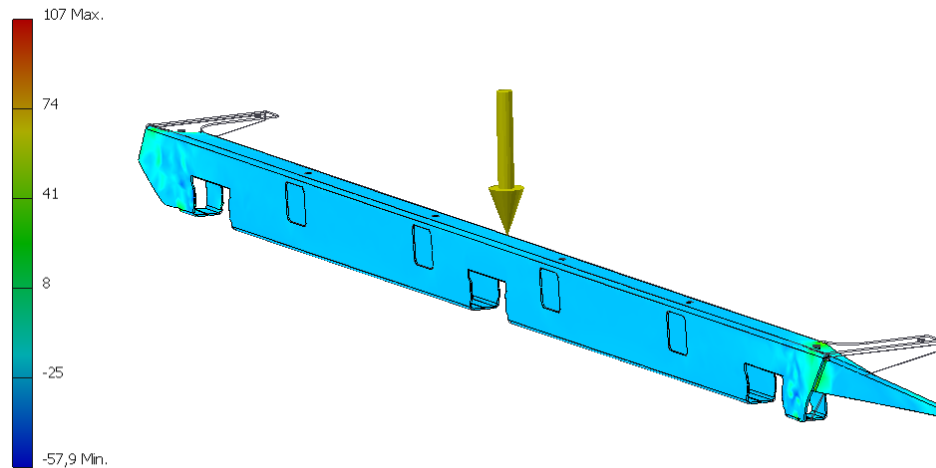
Obr.38 – Součinitel bezpečnosti, vnější úchyt klimatizační jednotky

Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
13.5.2013, 15:05:56



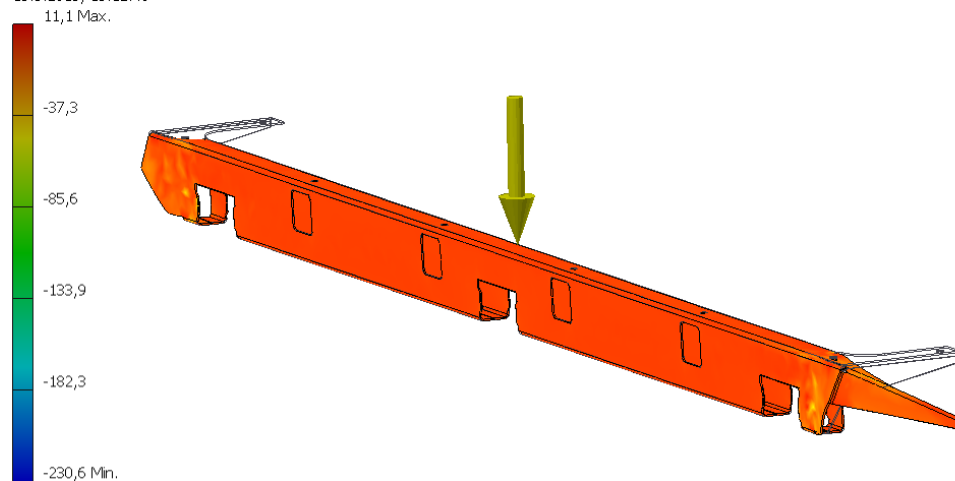
Obr.39 – Napětí Von Mises, vnitřní úchyt klimatizační jednotky

Typ: První hlavní napětí
Jednotka: MPa
13.5.2013, 15:11:12



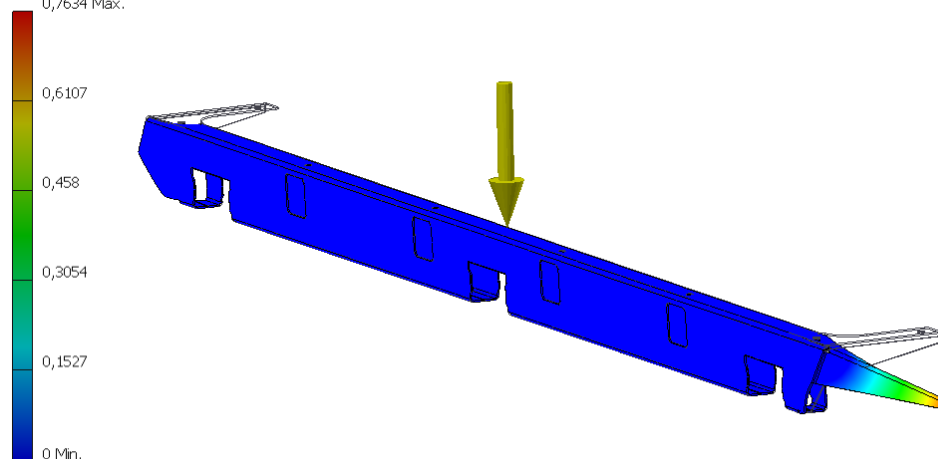
Obr.40 – První hlavní napětí, vnitřní úchyt klimatizační jednotky

Typ: Třetí hlavní napětí
Jednotka: MPa
13.5.2013, 15:12:48



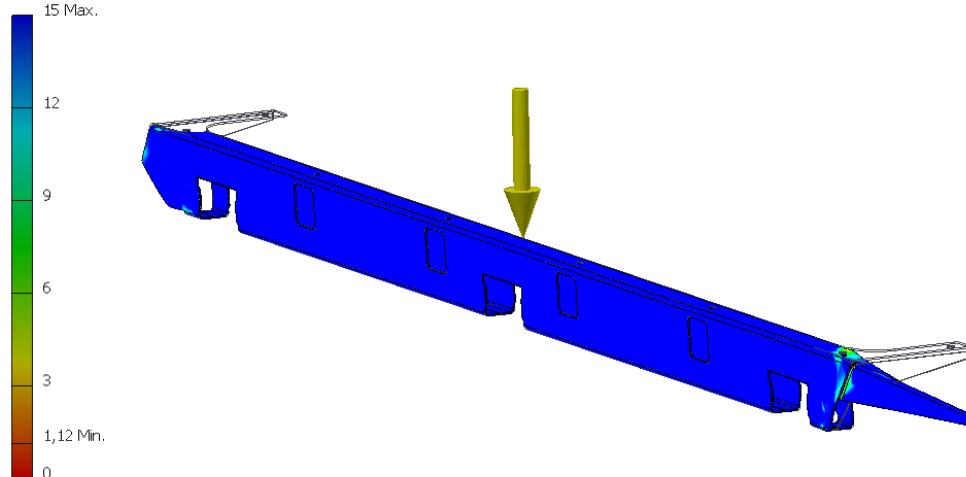
Obr.41 – Třetí hlavní napětí, vnitřní úchyt klimatizační jednotky

Typ: Posunutí
 Jednotka: mm
 13.5.2013, 15:13:43
 0,7634 Max.



Obr.42 – Posunutí, vnitřní úchyt klimatizační jednotky

Typ: Součinitel bezpečnosti
 Jednotka: ul
 13.5.2013, 15:14:14
 15 Max.



Obr. 43 – Součinitel bezpečnosti, vnitřní úchyt klimatizační jednotky

4 Hmotnostní rozbor navrhovaných úprav

Celý rozbor je zaměřen na analýzu nárůstu hmotnosti vozu. Jako první je třeba zjistit o jakou hmotnost bude konstrukce lehčí po vytvoření potřebných prostor pro nové díly. Tím je myšlena řada úprav. Od úprav vnitřních rámu oken, přes úpravy sloupků až po odstranění střešních kružin. Tuto část analýzy uvádí tabulka tab.4

Tab.4 – Tabulka odlehčení konstrukce vozu po prvotních úpravách

Úprava	Hmotnost [kg]
Obě bočnice	11,8
Střešní konstrukce	22,9
Součet hmotností m_o	34,7

K tomu je potřeba znát hmotnost nově navržených dílů, které nahradí úplně odstraněné díly. Přehled poskytuje tabulka tab.5.

Tab.5 – Tabulka hmotností nově navržených dílů

Navržené díly	Hmotnost [kg]
Výztuhy sloupků	26,3
Střešní kružiny	44,5
Úchyty klimatizační jednotky	30,1
Součet hmotností m_n	100,9

Z těchto dvou hlavních parametrů lze vypočítat, o kolik se navýší hmotnost konstrukce vozu navrhovanými úpravami. Výpočet výsledného nárůstu hmotnosti je proveden níže.

$$\Delta m = m_n - m_o \quad (13)$$

$$\Delta m = 100,9 - 34,7 \quad (14)$$

$$\Delta m = 66,2 \text{ kg} \quad (15)$$

Hmotnost se tedy navýší o 66,2 kg. Nejedná se však o konečné číslo. Je třeba započítat i hmotnost klimatizační jednotky a řady dalších věcí, které však nejsou náplní této práce. Dalšími nutnými úpravami, pro úspěšné dokončení zástavby jsou například instalace kompresoru a rozvod chladícího prostředku, rozvod topných potrubí, interiérové úpravy vozu, montáž celistvých oken, elektroinstalace, rozvodné kanály pro klimatizovaný vzduch. Po celkovém návrhu včetně těchto úprav je možné zjistit, zda nebyl překročen dovolený tlak na nápravu. Ekonomickou část navrhovaných úprav však nejsem schopen objektivně posoudit.

5 Závěr

S ohledem na doporučení a zadání jsem na základě rozměrových vlastností konstrukce vozu 814 provedl návrh možného konstrukčního řešení osazení klimatizace oddílu cestujících. Pro tento účel byl k dispozici počítačový model hrubé stavby vozu, na kterém byly realizovány potřebné úpravy.

Úprava stávající konstrukce spočívala v odstranění částí vnitřních okenních rámců a částí výztuh sloupků tak, aby zde bylo možné vestavět nepřerušovaný ocelový profil. Dále byly nutné provést změny v střešní konstrukci. Ze střešní konstrukce byly na patřičných místech odstraněny střešní kružiny a výztuhy mezi nimi s tím, že střešní výztuhy navazující na odstraněné kružiny byly zkráceny. To tak, aby je bylo možné využít s novými kružinami. Mezi samotnými novými kružinami byly výztuhy vytvořeny kombinovaně s úchyty klimatizační jednotky, tudíž nejsou zcela vyloučeny. Klimatizační jednotka byla ve zjednodušené podobě vymodelována a posloužila tak při návrhu úchytů. Mimo to bylo nutné zvolit takovou výšku klimatizační jednotky nad střechou vozu, aby bylo při montáži možné napojení přírodních šroubení a také aby byl přístup k otvorům rozvodných vzduchových kanálů.

Samotný návrh konstrukce byl doprovázen volbou technologie výroby jednotlivých dílů, byl zvolen materiál, tloušťka plechu a svařovací technologie. Nejjednodušší a zároveň nejpodstatnější bylo provést návrh výztuhy sloupku tak, aby plnil funkci a zároveň vyhovoval použité technologii. Následně bylo třeba navrhnout upravenou střešní kružinu, která bude vyhovovat technologickým možnostem, což se podařilo a umožnilo to tak umístit tyto nové kružiny do konstrukce vozu a provést návrh úchytů klimatizační jednotky. Tyto díly vyžadovaly dobře zvolenou polohu klimatizační jednotky a také parametry jako například její vzdálenost nad střechou či sklon upínacích ploch. Úchyty jsou čtyři, dva vnější, dva vnitřní. Jsou kombinované s výztuhami pro jednotlivé kružiny což snižuje počty potřebných svarových spojů a zvyšuje tuhost celku. Při návrhu úchytů bylo myšleno také na přístup k montážním otvorům pro šroubové spoje, proto byly v úchytech vytvořeny otvory, které usnadní tuto činnost.

Konstrukce byla patřičně předimenzována již při samotném návrhu. Byla následně doplněna o návrh svarových spojů, potřebných k výrobě jednotlivých dílů či sestavení zesílené střešní konstrukce. Na výztuze sloupku jsou dva tupé svarové spoje, kdežto na střešní kružině je velké množství koutových svarových spojů. Vyžádalo si je konstrukční řešení. Úchyty klimatizační jednotky jsou svařovány na nezbytně nutných místech tupými svarovými spoji. Všechny navržené díly byly ověřovány za pomoci softwarové pevnostní analýzy, která ukázala, že díly jsou vhodné pro zvolené zatížení. V závěru práce byl proveden rozbor změny hmotnosti a popis dalších potřebných úprav.

Hlavním přínosem této práce pro firmu Pars nova a.s. je, že bylo vytvořeno alespoň jedno konstrukční řešení, které vyhovuje zadání a umožňuje tak lépe si představit situaci a případně provést zdokonalení či návrh jiného řešení zakládajícího se na výsledcích této práce. Pokračováním by mohl být návrh zástavby kompresoru klimatizační jednotky umístěného pod vozem a následně výměna okenních skel za celistvá. To jsou podstatné úpravy, které výrazně mění hmotnost.

6 Seznam použité literatury

- [1] PARS NOVA A.S. 814-914 „Regionova“ [online]. Šumperk, [2011] [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://parsnova.cz/produkty/modernizace-a-rekonstrukce-zeleznicnich-kolejovych-vozidel/814-914-regionova>
- [2] PARS NOVA A.S. 814-014-814 „Regionova Trio“ [online]. Šumperk, [2011] [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://parsnova.cz/produkty/modernizace-a-rekonstrukce-zeleznicnich-kolejovych-vozidel/814-014-814-regionova-trio>
- [3] PARS NOVA A.S. *Technické podmínky motorové jednotky řady 814 + 914 ČD: č. 0814_09_00156*. Šumperk, 2011.
- [4] Tiskové zprávy: Pars nova ukončila po sedmi letech výrobu Regionovy. PARS NOVA A.S. *Vítejte na webu společnosti Pars nova a.s. - Pars nova a.s.* [online]. Šumperk, 12.12.2012 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://parsnova.cz/o-spolecnosti/tiskove-zpravy/Pars-nova-ukoncila-po-sedmi-letech-vyrobu-Regionovy-69>
- [5] PARS NOVA A.S. *Hrubá stavba 814: Počítačový model formát STEP*. Šumperk, 2013.
- [6] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Úvaly: ALBRA, 2003, 865 s. ISBN 80-864-9074-2.
- [7] MAJER, Lubomír. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 1999, 249 s. ISBN 80-857-7170-5.

- [8] KALÁB, Květoslav. *ČÁSTI A MECHANISMY STROJŮ: Části spojovací*. Ostrava, 2011 . Dostupné z: www.347.vsb.cz/files/kal01/skripta-castispojovaci.pdf

7 Seznam příloh

- 1 Výkres klimatizační jednotky, tištěná verze, elektronická verze na CD (formát PDF)
- 2 Sestava dílů upravené střešní konstrukce (formát STEP, Autodesk Inventor 2010)
- 3 Svařenec výztuhy sloupku (formát STEP, Autodesk Inventor 2010)